Postverlagsort Leipzig

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

A. BUTENANDT, BERLIN-DAHLEM · P. DEBYE, BERLIN-DAHLEM · F. K. DRESCHER-KADEN, GÖTTINGEN · H. v. FICKER, WIEN · R. GRAMMEL, STUTTGART

O. HAHN, BERLIN-DAHLEM · M. HARTMANN, BERLIN-DAHLEM · F. KÖGL, UTRECHT · M. v. LAUE, BERLIN · E. v. d. PAHLEN, POTSDAM

F. SAUERBRUCH, BERLIN · H. SPEMANN, FREIBURG I. BR. · H. STILLE, BERLIN · F. v. WETTSTEIN, BERLIN-DAHLEM

HERAUSGEGEBEN VON

FRITZ SÜFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 26 (SEITE 377—392) · 27. JUNI 1941 · 29. JAHRGANG

INHALT:

Zur Physiologie des Farbensehens. Von G. von Studnitz. (Mit 4 Figuren) 377

Kurze Originalmitteilungen:

Über Elektronenbewegungen in Plasmen und einige Anwendungen. Von W. O. Schumann 389

Eine übersehene Kartoffelvirose. Von E. Köhler 390

Ein einfaches Mitosegift. Von Hans Lettré, Marianne Albrecht und Hans Fernholz 390

Synthese des Cantharidins. Von K. Ziegler, G. Schenck und E. W. Krockow 390

Besprechungen:

Krenkel, E., Geologie der Deutschen Kolonien in Afrika. — Krenkel, E., Der Geologische Bau der Deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee. (Deutscher Boden, Bd. 11.) (Ref.: H. Stille) 391

Schindewolf, Otto H., Fortschritte der Geologie und Paläontologie. Bd. 12, H. 41. „Konvergenzen" bei Korallen und bei Ammoneen. (Ref.: Walter Gross) 391

Schussnig, Br., Vergleichende Morphologie der niederen Pflanzen. Eine Einführung in deren Formbildung und Formwechsel auf entwicklungsgeschichtlicher Grundlage. 1. Teil: Formbildung. (Ref.: Harald Kylin) 392

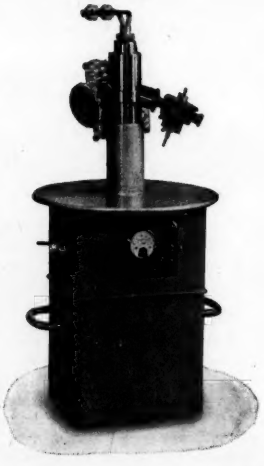
Martini, E., Lehrbuch der medizinischen Entomologie. (Ref.: Albrecht Hase) 392

Debyeflex

Röntgen-Apparat

für Feinstruktur-Untersuchungen

Aufnahmegeräte der verschiedensten Art für Laue, Debye-Scherrer und Rückstrahlaufnahmen



Fordern Sie Literatur und Angebote über unsere Apparate und Geräte an, die Ihnen kostenlos zur Verfügung stehen

Rich. Seifert & Co., Hamburg 13

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung oder jede Postanstalt bezogen werden. Preis vierteljährlich RM 9.60. Hierzu treten bei direkter Zustellung unter Kreuzband die Versandspesen bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelpreis dieses Heftes RM 1.— zuzüglich Porto. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Studierende, ferner Ärzte in nicht vollbezahlter Stellung erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%.

Manuskripte, Bücher usw. an

Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 22/24, erbeten.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung (entsprechend § 42 des Verlagsgesetzes) der in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihre Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden von der Verlagsbuchhandlung angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe erfragen. Letzter Annahme-Termin: 12 Tage vor Erscheinen der betreffenden Nummer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 22/24
Fernsprecher: 21 81 11.

BEZUGSQUELLEN

ANALYSENWAAGEN

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

GLASSPIEGEL

J. D. Möller G. m. b. H., Wedel/Holstein

MIKROTOME

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

PRÄZISIONSWAAGEN

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

Vergleichend-Physiologisches Praktikum

Mit besonderer Berücksichtigung der niederen Tiere

Von

Prof. Dr. **W. v. Buddenbrock** (Halle) und Dr. **G. v. Studnitz** (Halle)

Mit 43 Abbildungen. VI, 127 Seiten. 1936. RM 9.60

Inhaltsübersicht:

Lichtsinn. Hautlichtsinn. Pupille. Phototaxis. Skototaxis. Lichtrückenreflex. Lichtkompaßorientierung. Optomotorische Reaktionen. Echtes Bewegungssehen. Der binokulare Sehraum des Insektenauges. Formensinn. Farbensinn. Wirbeltierretina. Akkommodation des Schildkrötenauges. Automatie der Frosch- oder Aaliris. Strahlengang im Auge des Leuchtkäfers (Lampyris). — **Mechanischer Sinn.** Funktion der Halteren. Zusammenhang von Schwirren und Tarsenberührung bei Musca. Umdrehreflex von Asterias etc. Thigmotaxis bei Paramaecium. Aufhebung der Statoreflexe durch Thigmotaxis bei Astacus. Fallreflexe. Der homostrophische Reflex. Gehörsinn bei Rana. Statoreflexe. — **Der Temperatursinn.** Hirudo medicinalis, Helix pomatia, Pana. — **Chemischer Sinn.** Der Nachweis des chemischen Sinnes von Hydra, Aurelia aurita, Spinnen. Hervorlockung verschiedener Tiere durch Nahrungsstoffe. Bestimmung der chemisch reizbaren Körperstellen bei Helix. Geschmackssinn der Fliegen und Schmetterlinge. Dressur von Bienen auf Gerüche. — **Versuche zur Nervenphysiologie.** Coelenteraten. Würmer. Mollusken. Echinodermen. Arthropoden. — **Wasserhaushalt.** — **Das Blut.** Zählung der roten Blutkörperchen. Hämoglobingehalt verschiedener Blutarten. Gleichheit der Häminkrystalle aus verschiedenem Blut. Herstellung von Hämoglobinkrystallen. Arbeiten mit dem Barcroft-Apparat. Bestimmung des Blutzuckers. Blutgerinnung. Blutkreislauf und Herz. Umkehr des Herzschlages. Beobachtung des Blutkreislaufes in der Froschlunge und in der Schwimmhaut des Frosches. — **Atmung.** Messung der Sauerstoffaufnahme. Arbeiten mit der Gaspipette. Atemregulation der Insekten. Atemgröße der Dytiscuslarve. Messung des Sauerstoffverbrauchs nach Winkler. Hautatmung verschiedener Wirbeltiere. Schwimmblase. — **Farbwechsel.** — **Die Physiologie der Lokomotionsorgane.** Flimmerbewegung. Muskelphysiologie. — **Physiologie der Ernährung.** Nahrungsaufnahme verschiedener Tiere. Verdauungsfermente. H-Ionenkonzentration im Verdauungstractus. Leber der Wirbeltiere als Speicherorgan. Phosphornachweis im Leberextrakt von Schnecken. — **Excretion.** Nachweis bestimmter Excretstoffe. Harnstoffnachweis im Blut verschiedener Tiere. Nachweis der Harnstoffausscheidung des Fisches durch die Kieme. — Sachverzeichnis.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang 27. Juni 1941 Heft 26

Zur Physiologie des Farbensehens.

Von G. von Studnitz, Halle a. d. Saale.

1. Einleitung.

Im Rahmen der Erforschung des Farbensehens, das im Verlaufe seiner langen, bis in die Anfänge wissenschaftlicher Naturbetrachtung zu verfolgenden Geschichte immer wieder vom Blickpunkt der verschiedensten Wissenschaften her in Angriff genommen wurde, hat sich die Physiologie stets einer ganz besonderen Lage gegenübergesehen: Von sich aus außerstande, ein einziges objektives, rein physiologisches Moment zur Deutung der die Farbenunterscheidung und damit -empfindungen überhaupt erst ermöglichenden (im weiteren Sinne) peripheren Prozesse beizubringen, hat sie sich darauf beschränken müssen, eben diese Vorgänge entweder aus den physikalischen Gegebenheiten der sie auslösenden Reize oder aus den psychologischen der letztlich auf sie zurückgehenden Empfindungen zu erschließen.

Den sinnfälligsten Ausdruck dafür, zu welch gegensätzlichen Schlußfolgerungen die bevorzugte Benutzung des einen oder anderen Weges führen kann, bildet ein Vergleich der beiden derzeit am meisten genannten Theorien des Farbensehens und die große Fülle des sich an sie schließenden Für und Wider: v. Helmholtz' auf Grund exaktphysikalischer Farbenmischungen aufgestellte Dreikomponentenlehre und die aus der mehr phänomenologischen Einstellung Herings (und nicht ganz ohne schon von Schopenhauer geäußerte Gedanken) entstandene Theorie der Gegenfarben.

Wenn auch der nahezu beziehungslose Gegensatz zwischen diesen beiden Hypothesen ebensowohl (oder besser noch) aus den grundsätzlich verschiedenen Einstellungen der die beiden Verfahren handhabenden Forscher als aus den Methoden selbst erklärbar ist, so erscheint es heute dennoch nur aus dem völligen Mangel objektiv-physiologischer Momente heraus verständlich, daß sich die Heringsche Theorie so lange Zeit ernsthafter Beachtung und Diskussion zu erfreuen vermochte, wenigstens soweit sie den Anspruch erhebt, eine Deutung der eigentlichen die Farbunterscheidung einleitenden retinalen Primärprozesse zu geben. Die aus Herings Universalformel: Assimilation ⇄ Dissimilation (vgl. 1921) für den Sehprozeß abgeleitete Vorstellung, daß ein Sehstoff durch diese Wellenlänge zersetzt („dissimiliert"), durch jene dagegen aufgebaut („assimiliert") werde, entbehrt zumindest für die Retina jeglicher experimentellen Grundlage und Wahrscheinlichkeit (vgl. schon A. Fick 1879, ferner v. Studnitz 1934, 1940a spez. S. 316, 1940b). Selbst ein so namhafter Vertreter der Heringschen Schule und Gegner der Dreikomponentenlehre wie A.v. Tschermak räumt neuerdings (1929) ein, daß mit der Theorie der Gegenfarben „höchstens etwas über die nervösen Anteile des Sehorgans, keinesfalls etwas über die wahrscheinlich photochemischen Prozesse im reizvermittelnden Apparate der Netzhaut ausgesagt wird" (S. 570).

Mit dem Nachweis, daß die dem Tages- und Farbensehen dienende (vgl. hier v. Studnitz 1940a, c) Zapfensubstanz (v. Studnitz 1934, 1940a, b) keinen einheitlichen Sehstoff, sondern einen Dachbegriff für einen Komplex dreier, auf verschiedene Zapfen verteilter *Farbsubstanzen* darstellt (v. Studnitz 1940d, e, 1941), ist die Frage nach Art und Zahl der den Farbreiz aufnehmenden und vermittelnden Stoffe dem Bereich indirekter Schlußfolgerungen bzw. beliebiger Spekulationen endgültig entzogen und darüber hinaus die Richtigkeit der genialen Helmholtzschen Konzeption[1]) von 3 „Komponenten" (innerhalb des Zapfenapparates) auch experimentell unmittelbar erwiesen.

Infolge grundsätzlicher Unterschiede zwischen der Rot-, Gelb- und Blausubstanz[2]) einerseits und den hypothetischen Komponenten andererseits erweist es sich jedoch als unmöglich, die Dreikomponentenlehre und damit auch die durch sie den Erscheinungen des Farbensinns gegebenen

[1]) Die Priorität für eine Dreigliederung des farbvermittelnden Netzhautmechanismus wird im allgemeinen, so insbesondere auch von v. Helmholtz selbst, Thomas Young zuerkannt, während Helmholtz das Verdienst zugeschrieben wird, diesen Grundgedanken wieder aufgegriffen und durch Einbau aller wesentlichen Daten der Psychophysik des Farbensinns erst eigentlich zu einer Theorie gestaltet zu haben. Hierbei scheint mir vielfach der Tatsache nicht genügend Rechnung getragen zu werden, daß Young seine Hypothese auf Grund nicht nur heute, sondern bereits zu Zeiten Helmholtz' völlig irriger Voraussetzungen aufstellte: Unter dem Eindruck von Newtons Entdeckung der Wellennatur des Lichtes und seines daraus resultierenden bekannten Versuchs, optische und akustische Reizung den gleichen Prinzipien zu unterstellen, greift er (1802) Newtons Vorstellung von der Resonatornatur der Retina unmittelbar auf und folgert nun weiter, daß es „fast unmöglich ist, anzunehmen, daß jeder empfindliche Punkt der Retina eine unendliche Zahl von Partikeln enthält, deren jeder imstande ist, in vollkommener Gleichheit mit jeder nur möglichen Welle mitzuschwingen", sodaß „die Annahme einer z. B. auf die drei hauptsächlichen Farben Rot, Gelb und Blau beschränkten Anzahl notwendig" werde.

[2]) Die Benennung der 3 Farbsubstanzen erfolgte, wie in Erinnerung gebracht wird (v. Studnitz 1940d, 1941), nach den von ihnen maximal *absorbierten* Bereichen!

Deutungen in unveränderter Form zu übernehmen bzw. ohne weiteres auf die Farbsubstanzen zu übertragen. Während v. HELMHOLTZ eine — wenn auch jeweils unterschiedliche — Absorption jeder einzelnen Komponente in allen sichtbaren Spektralbezirken annahm (s. Fig. 1; für die „Endfarben" Rot und Violett räumt er allerdings bereits die Zulässigkeit der Annahme ein, daß die betr.

Fig. 1. Die spektralen Wirkungsbereiche der 3 Komponenten in v. HELMHOLTZ' Dreikomponentenlehre (nach v. HELMHOLTZ, Physiol. Optik, 1. Aufl., 1865).

Wellenlängen nur einen, nicht 2 oder gar 3 der „farbenempfindenden Nervenapparate" erregen [2, S. 349])[1], ist demgegenüber das Absorptionsspektrum jeder Farbsubstanz ganz erheblich eingeschränkt (s. Fig. 2). Und weiterhin hat sich gezeigt, daß in ähnlicher Weise, wie es die Dreikomponentenlehre für die Gelbempfindung annahm, auch das Grün durch die gemeinsame Wirkung zweier Farbsubstanzen, der Gelb- und Blausubstanz, bewirkt wird.

Im Verlaufe der Ausarbeitung der hiermit vorgelegten neuen Fassung der Dreikomponentenlehre[2]) auf nunmehr fester experimenteller Basis ergab sich weiterhin die Möglichkeit, mit sehr viel größerer Sicherheit als bisher in die retinalen wie zentralen Vorgänge Einblick zu gewinnen bzw.

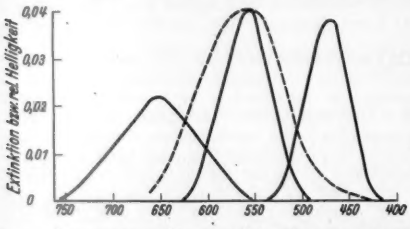


Fig. 2. Ausgezogene Kurven: Die Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen der Ringelnatter (links die „Rot"-, rechts die „Blau"-, in der Mitte die „Gelbsubstanz"; nach v. STUDNITZ 1940d und 1941). — Unterbrochene Kurve: Die Verteilung der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen beim (farbigen) „Tagessehen" (nach GIBSON 1940), nach Umrechnung auf gleiche Gipfelhöhe mit der Gelbsubstanz.

zwischen beiden zu scheiden. Dabei habe ich die Vorstellungen, zu denen ich schließlich gelangte, in dieser oder jener Form, wenn auch wohl stets in jeweils anderer Verbindung, fast sämtlich bereits im älteren Schrifttum wiederfinden können.

[1]) Die Zahlen hinter „HELMHOLTZ" bedeuten hier und weiterhin die Auflage der „Physiologischen Optik".

[2]) Die Bearbeitung der Anomalien des Farbensinns erfolgt gesondert.

Endlich wäre noch darauf hinzuweisen, daß die von v. HELMHOLTZ aufgestellten „Absorptionskurven" seiner Komponenten so sehr aus dem Rahmen des bisher Bekannten herausfallen, daß bereits diese Tatsache allein eine Umarbeitung in einer schon rein theoretisch unseren Vorstellungen über die spektrale Absorption von Sehstoffen entsprechenden und damit der hier zwangsläufig eingeschlagenen Richtung rechtfertigen würde.

2. *Farbsubstanzen und Farbensehen.*

Wir machen die durch den Nachweis der Zapfensubstanz bzw. der komplexen Natur derselben sehr gesicherte Voraussetzung, daß der die farbigen Empfindungen einleitende retinale Primärprozeß in der gleichen Weise durch die photochemische Zersetzung eines Sehstoffes (der Farbsubstanzen) dargestellt wird, wie es für die Empfindung und Unterscheidung von Helligkeiten unzweifelhaft der Fall ist (vgl. v. STUDNITZ 1934, 1939, 1940a, b).

Damit würde die Farbempfindung den gleichen grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten unterliegen wie die der Helligkeit. Das läßt sich an mehreren Beispielen aus der Psychophysik des Farbensehens belegen: So wird die spezifische Farbenzeitschwelle (s. unten) durch Dunkeladaptation gesenkt, und zwar besonders deutlich für rote Lichter. Die Angaben, ob die Dunkeladaptation auch die Farbschwelle an sich senkt, was zu erwarten ist, lauten verschieden (vgl. v. TSCHERMAK 1929, S. 446). Auf entsprechenden Ursachen beruht auch die bekannte Abnahme der Sättigung länger einwirkender Lichter.

Dank den spezifischen Energien der zu den verschiedenen Zapfen gehörigen Ganglienzellen bewirkt die Zersetzung jeder Farbsubstanz eine andere Grundempfindung; die Rotsubstanz (bzw. die zu ihren Zapfen gehörige Ganglienzellsorte) produziert die rötlichen, die Gelbsubstanz die gelblichen und die Blausubstanz die bläulichen Empfindungen.

Auf Grund des Bildes, das die spektrale Absorption der 3 Farbsubstanzen darbietet, läßt sich aussagen, daß die Qualität der Empfindung darüber hinaus im wesentlichen durch 2 Faktoren bestimmt wird: 1. durch das für die betr. Wellenlänge charakteristische Absorptions- und damit Zersetzungsverhältnis *zweier* Farbsubstanzen (Fig. 2) und 2. durch die Absorptions- und damit Zerfallsgröße einer einzelnen Farbsubstanz.

Dies letztere bedeutet also, daß die *Quantität* der Erregung auf die *Qualität* der Empfindung Einfluß nimmt — im Gegensatz zum Helligkeitssehen, bei dem die (durch die Absorptions- und Zerfallshöhe bestimmte) Erregungsgröße lediglich die *Stärke* der Empfindung bestimmt! Wir haben diesen Unterschied als durch besondere Eigentümlichkeiten der die Farbempfindungen produzierenden Ganglienzellen bedingt anzusehen[1]).

[1]) In modifizierter Form und auf anderem Wege kommen wir hiermit zu einem ähnlichen Gedanken wie DE LA HIRE (1711), der die Farben von der Stärke abhängen ließ, mit der das Licht auf den Sehnerven treffe.

Am deutlichsten wird er durch eine Betrachtung der spektralen Absorption der Blausubstanz (Fig. 2): Der Wirkungsbereich der Gelbsubstanz endet bei etwa 490 mμ; alle noch kurzwelligeren Strahlen zersetzen — wenn auch in jeweils unterschiedlichem Maße — ausschließlich die Blausubstanz. Dennoch bewirken diese zwischen 490 und etwa 400 mμ gelegenen Wellenlängen jeweils ganz verschiedene Empfindungen, von denen hier nur Blau, Indigo und Violett genannt seien.

Auf die Höhe der Absorption und damit auch die der Sehstoffzersetzung und Erregung nimmt nun nicht nur die Wellenlänge, sondern auch die *Intensität* des Reizlichtes Einfluß. Durch sie müßte es also ebensowohl möglich sein, die Qualität der Empfindung zu bestimmen bzw. zu verändern — in dem Sinne etwa, daß die durch eine gering absorbierte Wellenlänge produzierte Empfindung (z. B. Violett) lediglich durch Intensitätserhöhung in eine Empfindung umgewandelt wird, die an sich einem von der betreffenden Farbsubstanz stärker absorbierten Spektralbereich entspricht (z. B. Blau). Derartige Erscheinungen kennt man seit langem: Violett entfernt sich „desto mehr vom Blau, je lichtschwächer es ist", das Blau wird „bei geringer Helligkeit mehr indigoblau, bei größerer himmelblau" (v. HELMHOLTZ I, S. 234).

Ungleich wesentlicher als die Absorptions- bzw. Zerfallsgröße *einer* Farbsubstanz erscheint der andere der beiden für die Entstehung der zahlreichen Farbempfindungen verantwortlich gemachten Faktoren: das Absorptions- und damit Zersetzungsverhältnis *zweier* Farbsubstanzen. In Erscheinung zu treten vermag dieses Moment selbstverständlich nur für Wellenlängen, die im Absorptionsgebiet zweier Farbsubstanzen gelegen sind, Bezirken also, in denen sich die Absorptionsspektra je zweier Sehstoffe überschneiden.

Mit Ausnahme des schmalen Bezirkes von 530 bis 555 mμ ist das der ganze zwischen 490 und 630 mμ gelegene Bereich, dessen für die Skala der Farbempfindungen hervorragende Stellung dann besonders deutlich wird, wenn wir uns die von KÖNIG und DIETERICI (1886; vgl. auch GULLSTRAND 1906, RAYLEIGH 1910, GOLDMANN 1922) nach dem Prinzip der Empfindungsänderung mit der Wellenlänge vorgenommene Einteilung des Spektrums vergegenwärtigen: An beiden Enden des Spektrums finden sie je eine Strecke („Endstrecke") innerhalb deren nur Unterschiede der Helligkeit, nicht mehr aber solche des Farbentons zu finden sind (>655 und <430 mμ). An diese schließen sich nach der Mitte des Spektrums zu die beiden sog. „Zwischenstrecken" (655—630 und 430 bis 475 mμ), deren Farben noch durch Mischung der an ihren Enden gelegenen vollkommen wiedergegeben werden können. Dies ist nicht mehr möglich für die nun noch verbleibende und in ihrer Ausdehnung (630—475 mμ) fast völlig mit dem Überschneidungsgebiet unserer Farbsubstanzen (630—490 mμ) identische „Mittelstrecke", innerhalb derer sich der Farbton von einer Wellenlänge zur anderen relativ rasch ändert (v. HELMHOLTZ I, 2)[1].

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die gesamte Skala der mit Gelbrot, Orange, Rotgelb, Goldgelb usw. bezeichneten Empfindungen auf dem wechselnden Absorptions- und damit Zersetzungsverhältnis zwischen Rot- und Gelbsubstanz beruht; die durch eine Ganglienzellsorte produzierte Grundempfindung tritt in der Gesamtempfindung um so mehr zurück (hervor), je geringer (stärker) die betr. Wellenlänge von dem die Erregung liefernden Sehstoff absorbiert wird. So empfinden wir die langwelligen Spektralbereiche als um so gelber, je weiter wir nach der Mitte des Spektrums und damit aus dem Absorptionsbereich der Rotsubstanz in das der Gelbsubstanz gelangen.

Unter den je zwei der Farbsubstanzen (Rot und Gelb oder Gelb und Blau) gleichzeitig zersetzenden Wellenlängen gibt es deren zwei, die etwas empfindungsmäßig Einheitliches schaffen, ohne daß der peripher noch getrennte Charakter der Erregung in der Empfindung erkennbar bliebe: Die um 575 mμ gelegenen Bezirke bewirken die Empfindung Reingelb, die um 510 gelegenen die des Reingrün. Diese nähern sich in ihrem Farbton um so mehr einer der beiden ihnen benachbarten Urfarben (Gelb dem Rot bzw. Grün, Grün dem Gelb bzw. Blau), je stärker die Zersetzung der diese bedingenden Farbsubstanzen ist.

Dieses letztere wird nur dann verständlich, wenn wir hier die grundsätzlich neue und aus den Absorptionskurven der Farbsubstanzen unmittelbar ablesbare Voraussetzung machen, daß die alleinige Zersetzung der Gelbsubstanz bzw. die alleinige Erregung ihrer Ganglienzellen keine einheitlich, sondern eine gemischt wirkende Empfindung bedingt: Gelbgrün, das dem ausschließlich von der Gelbsubstanz absorbierten Bereiche zwischen 555 und 530 mμ entspricht! Das Hinzutreten der Rotsubstanz bzw. die Erregung ihrer Ganglienzellen „unterdrückt" die grüne, das der Blausubstanz die gelbe Komponente dieser Doppelempfindung, so daß wir über rein gelbe bzw. rein grüne Töne schließlich zu den rotgelben bzw. grünblauen und endlich zu den allein durch die Rot- und Blausubstanz produzierten reinroten und reinblauen gelangen. — Mit dieser Ableitung haben wir uns nun nicht nur der Lösung des alten Problems der Entstehung eines Quartetts von „Urfarben" aus einem Terzett von Rezeptoren auf einem abermals anderen Wege genähert (vgl. v. HELMHOLTZ I,2, DONDERS 1881, LADD-FRANKLIN 1893, SCHENCK 1907, NAGEL 1909, v. KRIES 1909, SCHJELDERUP 1920, OEHRWALL 1923), sondern sind, wie mich dünkt, mit ihr auch dem Verständnis des Auftretens von miteinander zu einer gemischten oder einfachen Empfindung vereinbaren Farben einerseits und dem von Gegenfarben andererseits erheblich nähergerückt: Rot schließt

[1] Mit dieser Ungleichmäßigkeit der Farbtonänderung hängt dann wieder die unregelmäßige Verteilung der Komplementärfarben zusammen, die jener durchaus entspricht (vgl. v. HELMHOLTZ 1).

Grün ebenso aus wie Blau Gelb, woraus sich eine Mischbarkeit lediglich von Gelb mit Rot und Grün und von Blau mit Grün und Rot und damit das Farbenviereck ergibt.

Unmittelbare Hinweise für das hier Abgeleitete erhalten wir aus Beobachtungen über die Ermüdung der Netzhaut mit bestimmten Farben. So sah v. HESS (vgl. v. KRIES 1909) ein grünes Licht von 517 mμ Wellenlänge nach Blauermüdung (Erschöpfung der Blausubstanz; vgl. die gleichlaufende Deutung der retinalen Ermüdung bei v. HELMHOLTZ und v. KRIES' „Koeffizientensatz") wie ein gelbgrünes von etwa 565 mμ, v. KRIES sah ein gelbes Licht nach Rotermüdung grüngelb, nach Grünermüdung orange (Überwiegen der Rotsubstanz über die schon durch das ermüdende Licht mehr oder weniger zersetzte Gelbsubstanz).

Die Tatsache, daß einzelne, zwei Farbsubstanzen zersetzende Wellenlängen eine „eigene" Empfindung erzeugen können, ist von ganz hervorragender Bedeutung. Wir verdanken ihr den Vorteil der Farbeindrücke, die über die Zahl der durch totale oder partielle Zersetzung der einzelnen Farbsubstanzen entstehenden Empfindungen hinausgehen. Als zwangsläufige Folge und „Nachteil" würde dem die alte und als Allgemeinproblem der Sinnesphysiologie viel erörterte Erfahrung gegenüberstehen, daß der visuelle Apparat, im Gegensatz etwa zum akustischen, nicht in der Lage ist, aus der Empfindung heraus zu entscheiden, ob diese durch einen einzelnen Reiz (eine Wellenlänge) oder durch gleichzeitige Einwirkung zweier verschiedener zustande kam. Andererseits liefert aber gerade dieses Moment einen wesentlichen Hinweis auf die Arbeit des zentralen, die Farbenempfindungen bewirkenden Apparates.

Rein theoretisch ist es ja keineswegs selbstverständlich, daß die Zersetzung einer Farbsubstanz, mithin die Reizung einer Zapfensorte, Empfindungen (mit)bewirkt, die über das hinausgehen, was durch die (mehr oder minder starke) Erregung allein der ihr zugehörigen Ganglienzellsorte entsteht, gleichzeitige Reizung beispielsweise der „Rot-" und „Gelbzapfen" also nicht lediglich ein räumliches Nebeneinander roter und gelbgrüner Farbtöne statt der gelben und rotgelben Empfindungen schafft. Daß dies dennoch der Fall ist, deutet auf eine Interaktion („additive Verknüpfung" nach v. HELMHOLTZ 2, S. 375, vgl. auch PREYER 1881, v. TSCHERMAK 1929 u. a.) der zu den einzelnen Zapfensorten gehörigen und die 3 Hauptempfindungen bewirkenden 3 verschiedenen Ganglienzelltypen, die ihrerseits wieder sofort die Frage aufwirft, unter welchen Bedingungen derartige zu Mischempfindungen führende Interaktionen und unter welchen eine alleinige, lediglich den Tönen seiner Grundempfindung entsprechende Arbeit eines einzigen Ganglienzelltyps gewährleistet sind.

Das Faktum der „*Feldschwelle*", d. h. der Notwendigkeit, zur Erzeugung einer farbigen Empfindung Retinaareale einer bestimmten Minimalgröße zu reizen, bei deren Unterschreitung wohl noch eine farblose Helligkeits-, nicht aber mehr eine Farbenempfindung resultiert, gibt den sehr deutlichen Hinweis, daß letztere überhaupt nur durch Reizung mehrerer bzw. einer gewissen Minimalzahl relativ eng benachbarter Zapfenindividuen eines bestimmten Areals erzeugt werden kann[1]). Innerhalb dieses gewissermaßen eine Funktionseinheit darstellenden Feldes treten nun die Zapfen — besser: deren Ganglienzellen — eines Typs bei Zersetzung allein der ihnen eigenen Farbsubstanz untereinander, bei auch andere Farbsubstanzen angreifenden Reizlichtern dagegen außerdem automatisch mit denen der mitgereizten anderen Sorte (Farbsubstanz) in Aktion. Während im ersteren Falle die Abstufungen der jeweiligen Grundempfindungen entstehen (Rot, Gelbgrün, Blau. Indigo, Violett), resultieren im zweiten die Mischempfindungen Gelb und Rotgelb (Rot- und Gelbsubstanz), Grün und Blaugrün (Gelb- und Blausubstanz) und endlich Purpur (Rot- und Blausubstanz), welch letzterer mangels einer fehlenden Überschneidung der Absorptionskurven von Rot- und Blausubstanz lediglich durch Wellenlängenmischung erzeugt werden kann, durch diese aber, verbunden mit jenen soeben besprochenen Eigentümlichkeiten des optischen Apparates, die Aufstellung und Schließung des „Farben*kreises*" ermöglicht.

Daß jene Interaktion zwischen den einzelnen Elementen nicht peripher-retinaler, sondern zentraler Natur ist, beweist die Erscheinung der binokularen Farbenmischung, die Möglichkeit also, farbige Mischempfindungen auch dadurch zu erzeugen, daß die eine in der Gesamtempfindung vertretene Wellenlänge auf das eine, die zweite auf die entsprechende Retinastelle des anderen Auges (und damit das gleiche zentrale Projektionsfeld) einwirkt.

Die Entstehung gewisser urfarbiger (s. unten) Empfindungen kann auch durch Komposition zweier Wellenlängen erfolgen, die jede für sich lediglich eine partielle Zersetzung der Farbsubstanz, kombiniert jedoch ohne Zweifel deren totalen Zerfall bewirken; so läßt sich Blau aus Violett und Grün herstellen. Daß auch in diesem Falle keine Entscheidung darüber möglich ist, ob es sich um eine durch eine einzelne Wellenlänge oder durch die Mischung zweier produzierte Empfindung handelt, dürfte ohne weiteres einleuchten. Die Tatsache, daß derartige durch Mischungen hergestellte Farben stets ungesättigter sind als die „einfachen", beruht auf dem dann stets hinzutretenden, die Helligkeit und damit die Weißlichkeit vor-

[1]) Es würde dies eine weitere Verminderung der *Sehschärfe* in monochromatischem Licht bedeuten, die allein schon durch die Verteilung der einzelnen Farbsubstanzen auf verschiedene Zapfen eine Reduktion gegenüber der in gleichstarken Weißhelligkeiten gemessenen erfahren muß [vgl. hier die von KÖNIG in verschiedenen (Rot, Violett, Gelb, Gelbgrün) monochromatischen Bereichen gefundenen *maximalen* Sehschärfen (53′2″—66′9″) mit denen, die unter optimalen Bedingungen beim Weißsehen erreicht werden (23,3 bis 64″; v. STUDNITZ 1940a, S. 293)! S. auch v. BRÜCKE 1879, BRÜNN 1904].

wiegend bestimmenden Anteil der Gelbsubstanz (siehe nächsten Abschnitt).

Was die Abgrenzung des in bezug auf Farbenempfindungen als Funktionseinheit wirkenden retinalen Areals anbelangt, so ist diese sowohl durch rein physiologische als auch durch mehr topographisch-anatomische Faktoren bestimmt. Einen sehr deutlichen Hinweis auf das erstere gibt die Abhängigkeit der Feldschwelle von der Intensität des Reizlichtes[1]), also der Stärke der Erregung; die Beteiligung des zweiten Faktors erhellt aus der Erscheinung der sog. *„Peripheriewerte"*: Gewisse periphere Retinapartien vermitteln keine Farbenunterscheidung mehr, sondern nur noch Helligkeitsempfindungen, und das unbeschadet des Auftretens von — hier allerdings gegenüber dem Stäbchenapparat stark zurücktretenden — Zapfen, deren Vorhandensein sowohl histologisch als auch physiologisch durch Messung der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen dargetan werden kann. Die Kurve dieser die Helligkeitsverteilung im farblos, weil genügend exzentrisch gesehenen lichtstarken Spektrum beschreibenden Peripheriewerte hat das gleiche Maximum und die gleiche Gestalt wie diejenige der Tageswerte, die also der relativen Helligkeit der Wellenlängen innerhalb des farbig gesehenen Spektrums Ausdruck verleiht (v. TSCHERMAK 1900, SCHENCK 1907, v. KRIES 1909, ZAHN 1912). In aller Klarheit erweisen diese Ermittelungen nicht nur das Auftreten von Zapfen, sondern auch deren normale Funktion; der Ausfall der Farbwahrnehmung in diesen Retinapartien kann danach nur auf ihre gegenüber den zentraleren Netzhautstellen sehr viel lockerere Stellung zurückgeführt werden, die eine Interaktion zwischen den einzelnen Elementen bzw. ihren Ganglienzellen verbietet. Daß damit grundsätzlich das gleiche Phänomen — Unterschreitung der zur Farbenwahrnehmung notwendigen Zahl gereizter Zapfen — vorliegt wie bei Reizung zu wenig ausgedehnter zentraler Retinapartien, zeigt die Übereinstimmung, die die Kurve der Peripheriewerte nicht nur mit der der Tageswerte, sondern auch mit der der „Minimalfeldhelligkeiten"[1]) aufweist, die sich damit ebenfalls als durch den Zapfenapparat bewirkt dokumentiert.

Auf weitere Beispiele, die den entscheidenden Einfluß derartiger ganglionärer Interaktionen auf das Auftreten einer Farbwahrnehmung überhaupt erhellen, kann hier nur hingewiesen werden. So berichtet A. FICK (1879), daß an mehreren, getrennt nebeneinander gesehenen kleinen Objekten, die einzeln farblos erscheinen, der Farbton erkannt wird und daß „die Farben ... um so weiter seitwärts noch vollständig oder teilweise erkannt" werden, „je größer das Netzhautbild des farbigen Objektes ist" (vgl. auch v. HELMHOLTZ 1). Auch die Änderung des Farbentons an der Peripherie mit der Verkleinerung der Reizfläche spricht durchaus in unserem Sinne.

Im vorhergehenden war bereits von den sog. „Urfarben" die Rede. Es wären dies die Empfindungen Urrot, (Urgelb), Urgrün und Urblau.

Ohne hier in eine Erörterung des alten Problems von dem Zusammenhang zwischen Urfarben und Grundempfindungen, deren Objektivität oder Subjektivität eintreten zu wollen oder zu müssen, erscheint dennoch die Frage erforderlich, ob eine derartige hervorragende Stellung gewisser Wellenlängen auch aus unseren Kurven ablesbar ist und deren Identifizierung mit den die Urfarben der Autoren produzierenden berechtigt erscheint.

Bezüglich der das „Urrot" und „Urblau" bewirkenden Bereiche liegt es nahe, diese mit denen

[1]) Ganz entsprechend dürfte damit auch der Anstieg der Sehschärfe mit steigender Helligkeit seine Erklärung finden, und zwar auch für *farblose* Lichter (vgl. v. STUDNITZ 1940a, 295/296).

[1]) Minimalfeldhelligkeiten sind Helligkeiten mit zentralen Retinapartien, jedoch (ihrer zu geringen Ausdehnung wegen) farblos gesehener Lichter.

Tabelle 1. Vergleiche zwischen den Wellenlängen der „Urfarben" und den Maxima bzw. Schnittpunkten der Farbsubstanzkurven.

Autor	Absorptionsmaxima der Rot- substanz (in mμ)	Gelb- substanz (in mμ)	Blau- substanz (in mμ)	Schnittpunkt der Absorptionskurven von Gelb- und Blausubstanz (in mμ)
v. STUDNITZ (1940d)	655	555	468	515
	Wellenlänge der Urfarben			
	Rot	(Gelb)	Blau	Grün
MAXWELL (1860)	630	(530)	457	516
MÜLLER 1869, v. KRIES 1878, BRÜCKE 1878				506
PREYER 1881	683,2	(576,4)	461,1	512,4
v. HELMHOLTZ 1892		550—560		
KÖNIG und DIETERICI 1893			470	505
VOESTE 1898		560	465	496
ABNEY 1900, 1912	672		454	514
ABNEY 1906			456	512
EXNER 1902			475	508
v. KRIES 1909	660	(574,5)	471	495
v. TSCHERMAK 1938		(573)	469	502

in Vergleich zu setzen, die eine maximale Zersetzung der Rot- bzw. Blausubstanz bedingen; dem „Urgrün" wäre die Wellenlänge zugrunde zu legen, die von Gelb- und Blausubstanz gleich stark absorbiert wird, bei der sich die Absorptionskurven dieser beiden Farbsubstanzen also schneiden (vgl. Fig. 2 und Tabelle 1; bezüglich des Maximums der Gelbsubstanz vgl. auch nächsten Abschnitt).

Dem Gelb wurde bekanntlich oftmals (z. B. v. HELMHOLTZ 1, 2; DONDERS 1881; SCHENCK 1907; NAGEL 1909; v. KRIES 1909; SCHJELDERUP 1920; OEHRWALL 1923) kein eigener „Rezeptor", keine spezielle Farbsubstanz zugebilligt; man ließ es vielmehr durch gleichzeitige Reizung der Rot- und einer „Grün"-komponente entstehen. Als Begründung wurde dabei im wesentlichen auf die Möglichkeit der Herstellung von Gelb durch Mischung der Urfarben Rot und Grün hingewiesen, obwohl bekannt ist, daß sich Spektral-

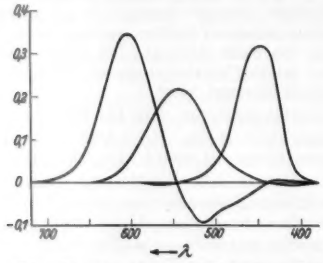


Fig. 3. Die Kurven der 3 „Grundempfindungen" (nach GUILD-WRIGHT aus RICHTER 1940). Diese 3 Grundempfindungskurven stellen die heute seitens der Intern. Bel. Kom. als Standardkurven angenommenen dar. Sie wurden zum besseren Vergleich mit denen der Fig. 2 hier im Spiegelbild des Originals wiedergegeben.

gelb aus Spektralrot und Spektralgrün ebensowenig herstellen läßt (vgl. z. B. v. TSCHERMAK 1929) wie letzteres aus Spektralblau und Spektralgelb; in jedem Falle bedarf es zu einer der Mischfarben eines Zusatzes der zu produzierenden Farbe. Es ist dies einer der Gründe, die v. HELMHOLTZ (1892) veranlaßten, den Hauptwirkungsbereich der mittleren Komponente soweit in das Langwellige zu rücken, daß er sich nunmehr als mit dem Absorptionsmaximum unserer Gelbsubstanz zusammenfallend erweist. *Mit dieser Anfügung gelblicher Empfindungstöne an seine Grünkomponente hat nun aber* v. HELMHOLTZ *grundsätzlich das gleiche getan wie wir, als wir Veranlassung nahmen, den durch gewisse Zersetzungsgrade allein der Gelbsubstanz bewirkten Empfindungen bereits grüne Töne zuzusprechen!*

Der Charakter der Urfarbigkeit scheint nach der weitgehenden, aus Tabelle 1 hervorgehenden Übereinstimmung zwischen den die Urfarbe produzierenden und den die Maxima bzw. Schnittpunkte der Absorptionskurven bildenden Wellenlängen in der Tat durch die maximale Zersetzung einer Farbsubstanz (Rot und Blau) bzw. den gleich (Grün) oder auch verschieden starken (Gelb) gleichzeitigen Zerfall zweier Sehstoffe und im ersteren Falle weiter durch die nicht minder wichtige und auffallende Tatsache bestimmt zu sein, daß jene die maximale Zersetzung einer Farbsubstanz bewirkenden Wellenlängen stets außerhalb des Absorptionsbereiches jedes der beiden anderen Sehstoffe gelegen sind. Aus diesen Momenten heraus sind auch die wesentlichsten der den Urfarben zukommenden Eigenschaften ableitbar:

1. Die „Einfachheit" der Urfarben Rot und Blau ergibt sich aus der Tatsache, daß die ihnen zugrunde liegenden Wellenlängen nur jeweils eine Farbsubstanz zersetzen und deren Ganglienzellen insbesondere bei maximaler Erregung jeweils eine „Grundempfindung" zugeordnet ist (betr. der Sonderstellung des Gelb und Grün s. oben).

2. Die Unabhängigkeit der Urfarbe von der Intensität, mit deren Steigerung lediglich eine Annäherung an Weiß (s. nächsten Abschnitt), nicht aber eine Änderung des Farbentons verbunden ist, ergibt sich zwangsläufig aus der Abhängigkeit der Empfindung von der Zerfallsgröße, die bei maximale Zersetzung bewirkenden Wellenlängen eben auch durch Intensitätssteigerung keine Änderung mehr erfährt. — Der Intensitätsunabhängigkeit des Urgrün kann die gleiche Deutung zugrunde gelegt werden, wie sie der der anderen Urfarben seitens der älteren Autoren auf der Basis der „Grundempfindungskurven" gegeben wurde, deren Urfarben durchweg in die Schnittpunkte der einzelnen Kurven verlegt wurden (vgl. Fig. 3): die Urfarbe entsteht durch gleichstarke Zersetzung zweier Farbsubstanzen, die durch eine Veränderung der Intensität beide in gleicher Weise betroffen werden. — Die Deutung der Intensitätsunabhängigkeit des HELMHOLTZschen Urgrün wäre die gleiche wie die, die wir der des Urrot und Urblau gaben.

3. Die Unabhängigkeit des Urfarbentons von der Netzhautstelle ist ohne Zweifel darin begründet, daß die ihn bewirkende maximale Zersetzung die Interaktion möglichst weniger und typenmäßig gleicher Ganglienzellen gestattet.

4. Wenn längere Einwirkung eines eine Urempfindung bewirkenden Bereichs ebensowenig einen Wechsel der eine derartige Empfindung erzeugenden Wellenlänge bedingt wie einen solchen des Bezirks, der die Urempfindung der Gegenfarbe (deren Farbsubstanz gar nicht einmal mit angegriffen wird!) produziert, so erscheint uns das nur selbstverständlich: Wieso sollten unter diesen Bedingungen andere Wellenlängen in der Lage sein, das Zersetzungsmaß einer Farbsubstanz noch zu steigern oder ein gleiches Zersetzungsverhältnis zweier Sehstoffe aufrecht zu erhalten? Und ebenso einleuchtend erscheint es, daß eine derartige „Verstimmung" die „Kardinalpunkte" der anderen Farben, und zwar in Richtung des ermüdenden Bereichs, verlagert: Längere Einwirkung einer Wellenlänge vermindert die Konzentration der von ihr betroffenen Farbsubstanz und senkt damit nicht nur das Maximum der spektralen Absorption, sondern verengt auch gleichzeitig ihren Gesamtwirkungsbereich. Dadurch wird es erforderlich, zur Aufrechterhaltung eines durch eine bestimmte *partielle* Zersetzung der betreffenden Farbsubstanz erzielten Effektes andere Wellenlängen zu nehmen, und zwar solche, die dem Maximum näher liegen. So bewirkt Blau- (Gelb-) Verstimmung eine Verlagerung der das Urgrün bewirkenden Wellenlänge nach dem kurz- (lang-) welligen Ende des Spektrums, und daß Entsprechendes auch für Rot und Gelb gilt, ist wieder nur

so verständlich, daß das eigentliche „Urgelb" eben nicht durch maximale Zersetzung der Gelbsubstanz, sondern durch eine submaximale mit einem bestimmten Zerfallsanteil der Rotsubstanz bewirkt wird.

5. Die Tatsache, daß (bei Rot und Blau) eben jenseits der die Urfarben bewirkenden Wellenlängen der Wirkungsbereich der benachbarten Farbsubstanz beginnt, ist zum Verständnis dessen, daß die Urfarben Maxima der Sättigungsdifferenz und Farbentonunterschiedsempfindlichkeit darstellen, sicherlich ebenso bedeutungsvoll wie die, daß Urgelb und Urgrün nur durch bestimmte Mischungsverhältnisse zweier Farbsubstanzen dargestellt werden können. Ein geringer Wechsel der Wellenlänge bewirkt das Auftreten bzw. Überwiegen der durch jene andere Farbsubstanz bewirkten Empfindungen, das zu Anfang offenbar merkbarer ist als in seiner späteren Steigerung.

Es erhellt, wie ich glaube, ohne weiteres, daß alle diese aus den Absorptionskurven unserer Farbsubstanzen ganz zwanglos abgeleiteten hauptsächlichen Charakteristika der farbigen Empfindungen nach der ursprünglichen Fassung von HELMHOLTZ' treffender Grundidee der Dreigliederung des Rezeptorenapparates, wenn überhaupt, nur sehr viel mühsamer und auf dem Umweg über zahlreiche Hilfshypothesen hätten gedeutet werden können.

3. Farbe und Helligkeit.

Der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen unter den Bedingungen des Zapfensehens gibt eine Kurve („Tageswerte") Ausdruck, die in Verbindung mit den Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen weitgehende Aufschlüsse über die Bedingtheit dieses Attributs der farbigen Empfindungen gestattet (Fig. 2).

Unzweifelhaft ist zunächst, daß der Faktor Helligkeit im wesentlichen durch die Gelbsubstanz bestimmt wird: Die von dieser maximal absorbierte Wellenlänge (555 mμ) ist unter den Bedingungen des Tagessehens die hellste Stelle im energiegleichen Spektrum: nach dessen beiden Enden erfolgt ein fast gleichmäßiger Abfall der relativen Helligkeit, der dem der relativen Absorption der Gelbsubstanz (trotz der Mitbeeinflussung von Rot- und Blausubstanz, die offenbar lediglich die erheblichere „Breite" der Tageskurve bestimmen), zunächst nahezu parallel verläuft, sich außerhalb des Wirkungsbereiches der Gelbsubstanz (jenseits 490 bzw. 630 mμ) jedoch ständig vermindert.

Dieser Endabfall der Helligkeit an sich erfolgt nun sowohl im Rot als auch im Blau trotz einer zunächst noch (von 630—655 bzw. 490—468 mμ) bemerkbaren Absorptions*zunahme* seitens der beiden hier in Frage kommenden Sehstoffe[1]) und weist auch in seinem weiteren Verlauf keinerlei Parallelität zu der Absorptionsabnahme der beiden endständigen Farbsubstanzen auf.

Wenn die bevorzugte Bindung der Farbhelligkeit gerade an die Gelbsubstanz zwar ihren bisher vielfach vermuteten Charakter als einer Resultierenden zwischen 3 auch bezüglich der Helligkeit „gleichberechtigten" Grundempfindungskurven[1]) (vgl. z. B. EXNER 1902) zunichte macht, so wäre sie allein dennoch als ausschließlich durch zentrale Phänomene bedingt erklärbar: Man könnte sich beispielsweise vorstellen, *daß jedem Zapfen zentral 2 Sorten von Ganglienzellen entsprechen, von denen die eine die Farb-, die zweite die Helligkeitsempfindung bedingt*, und daß die Schwelle der letzteren bei den die Gelbsubstanz bergenden Zapfen besonders tief, bei den die Rot- und Blausubstanz enthaltenden dagegen erheblich höher gelegen ist (vgl. z. B. v. KRIES 1909 und seine „Zonentheorie").

Die innerhalb der alleinigen Wirkungsbereiche von Rot- oder Blausubstanz zwischen Helligkeitsabfall und Absorptionszunahme bestehende Diskrepanz macht jedoch *außerdem bereits eine retinale Trennung von Farbe und Helligkeit erforderlich.* Ich habe deshalb (1940d) von *einer F- und einer H-Erregung der einzelnen Opticusfaser gesprochen* (vgl. auch EDRIDGE-GREEN 1910, 1911, 1923), von denen die erstere den Fasern aller Farbsubstanzen gleichmäßig, letztere dagegen vorwiegend der Gelbsubstanz zuzusprechen ist; jene Diskrepanz deutet ferner auf bestimmte *gegenseitige Beeinflussungen dieser beiden Erregungstypen* hin, die für sehr viele Erscheinungen des Farbensinns von entscheidendem Einfluß sein dürften und die sich auf psychophysischem Wege schon allein aus den zwischen Farbenton und Helligkeit bestehenden Zusammenhängen ergibt, die keineswegs eine einfache konstante Funktionsbeziehung darstellen (vgl. z. B. v. TSCHERMAK 1929).

Das Vorhandensein eigener, die farblosen (Helligkeits-) Empfindungen bedingender Ganglienzellen[2]) (vgl. auch BERNSTEIN 1914, OEHRWALL 1923) geht meines Erachtens unmittelbar daraus hervor, daß die optischen Zentren quantitativ abgestufte Erregungen das eine Mal (Helligkeit) lediglich mit quantitativ, das andere Mal (Farbe) dagegen mit qualitativ verschie-

[1]) Vernachlässigt man die Absorptionsanstiege der Rot- und Blausubstanz und zieht von den unterhalb des Gipfels der Gelbsubstanz gemessenen Werten zu den an den Enden des Spektrums beobachteten durch, so ergibt sich zumindest für die Schildkröte eine Kurve, die mit der der Tageswerte unmittelbar zusammenfällt (v. STUDNITZ 1939, 1940a, c)!

[1]) Schon KÖNIG ließ den Faktor Helligkeit nicht gleichmäßig durch alle 3 Komponenten, sondern, im Gegensatz speziell zur Blauvalenz, vorwiegend durch ihre Rotvalenz bedingt sein.

[2]) Vgl. hier auch v. HELMHOLTZ (2, S. 439/40), der den Eindruck hat, „daß es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichungen nicht um Vergleichungen einer Größe, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbenglut, handelt". Man denke hier auch an das Erlöschen des Farbenflimmerns vor dem der Helligkeit (v. LIEBERMANN 1911, s. auch PORTER 1902), eine Erscheinung, die nur schwer verständlich wäre, wenn wir — bei gleicher photochemischer Basis beider Erscheinungen — auch eine gleiche ganglionäre Grundlage von Helligkeit und Farbe annehmen wollten.

denen Empfindungen beantworten, also Leistungen vollbringen, die einer einzelnen Ganglienzelle schlechterdings kaum zugesprochen werden können!

Sehr deutlich im Sinne des Auftretens verschiedener Erregungstypen spricht z. B. die Möglichkeit, Farbenblindheit unter Erhaltung des normalen Helligkeitssinnes auch durch eine Affektion der mehr peripheren Teile der Sehbahn zu erwerben (KÖLLNER 1924). Die F-Erregung ist offenbar stärker an die völlige Intaktheit des leitenden Substrates gebunden als die H-Erregung.

Daß durch jene — zunächst mehr oder weniger teilweisen — Alterationen der Sehbahn nicht gleich eine totale, sondern auch eine partielle Farbenblindheit — und zwar sowohl Rotgrün- als auch Gelbblaublindheit und beide wieder unter Erhaltung der normalen Helligkeitsverteilung — resultieren kann (KÖLLNER 1924), beweist die verschiedene Empfindlichkeit der einzelnen F-Erregungen für Störungen ihres Substrates und damit *eine Verschiedenheit der F-Erregungen in sich* (vgl. v. KRIES 1929, S. 590). — *Bemerkenswert*

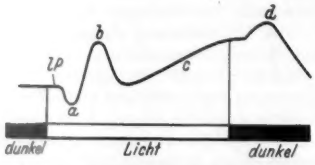


Fig. 4. Schema des Elektroretinogramms der Wirbeltiere (aus v. STUDNITZ 1940a).

ist auch hierbei das gleichzeitige Erlöschen der zu gegenfarbigen Empfindungen führenden F-Erregungen. Dieses deutet auf eine irgendwie geartete Verwandtschaft bestimmter F-Erregungen, die möglicherweise den Schlüssel zu der Möglichkeit gegenseitiger Aufhebung (s. nächsten Abschnitt) *und weiterhin auch den zum Verständnis der empfindungsmäßigen Unterdrückung der grünen Komponente des Gelbgrün durch das Hinzutreten von Rot, der gelben durch das des Blau liefert.*

Auf das klarste wird durch die Konstanz der relativen Helligkeitsverteilung in den oben genannten Fällen der retinale (vielleicht bereits in den Rezeptor selbst zu verlegende) Ursprung der die endgültige Erregung bzw. Erregungsform bestimmenden Interaktion zwischen H und F erwiesen: Läge er zentral, so müßte auch H durch einen Ausfall des ihm zugehörigen F merkbar beeinflußt werden.

Wir sind uns bewußt, daß diese — wie mir scheinen will: zwingenden — Ableitungen zu Schlußfolgerungen führen, die in mehrfacher Hinsicht einen gewissen Einbruch in die landläufigen Vorstellungen und Lehren der Nervenphysiologie bedeuten. Zunächst einmal nehmen sie dem JOH. MÜLLERschen Gesetze von den spezifischen Sinnesenergien (für v. HELMHOLTZ eines der Fundamente seiner Dreikomponentenlehre und der Sinnesphysiologie überhaupt) dadurch seine Ausschließlichkeit, daß von qualitativ verschiedenen Erregungen innerhalb eines Nerven oder gar seiner Einzelfasern die Rede ist.

Gerade dieses entspricht zwar der Meinung HERINGS (s. 1921), zu der er auf Grund seiner Annahme aller Sorten von Sehsubstanzen innerhalb jedes Rezeptors (notwendigerweise; vgl. aber auch BERNSTEIN 1914) gelangen mußte[1]), ferner insbesondere den Schlußfolgerungen, die WEISS (1928) aus den zu seiner Resonanztheorie führenden Versuchen unbestrittenermaßen zu ziehen gezwungen war, widerspricht jedoch der auf den Erfahrungen hauptsächlich der Elektrophysiologie aufgebauten Schulmeinung, nach der ein Nerv oder gar seine einzelne Faser qualitativ verschiedene Erregungen nicht aufweise[2]).

Für den hier vorliegenden Fall scheint mir nun eben gerade die Elektrophysiologie die unmittelbarste Stütze für den sich aus unserer Ableitung ergebenden Schluß von qualitativ verschiedenen Erregungen innerhalb (zumindest) des Opticus bzw. seinen einzelnen Fasern zu liefern!

Das Erscheinungsbild des Elektroretinogramms (ERG.) der Wirbeltiere hat es seit jeher (vgl. schon: KÜHNE und STEINER 1881) unzweifelhaft gemacht, daß es den Ausdruck nicht eines einzelnen Vorgangs, sondern gewissermaßen die Resultierende mehrerer retinaler Prozesse darstellt. Nach der heute (vgl. GRANIT 1936, 1938) angenommenen, auf PIPER (1911) zurückgehenden Aufgliederung des ERG. in seine Teilpotentiale entsprechen die bei Belichtung auftretende „positive Eintrittsschwankung" „b", die „sekundäre Erhebung" „c" und der „negative Vorschlag" „a" (s. Fig. 4) verschiedenen, voneinander unabhängigen Vorgängen. Der bei Verdunklung bemerkbare „Aus-Effekt" „d" ist dagegen ohne Zweifel die (positive) Verdunklungsreaktion des auf Belichtung mittels des (negativen) „a" sich äußernden Prozesses (Zusammenfassendes hierüber bei: v. STUDNITZ 1940a).

Während nun die positive Eintrittsschwankung „b", ungeachtet der Voradaptation oder Zusammensetzung des Sehzellenmosaiks, bei Belichtung stets, und zwar derart in Erscheinung tritt, daß aus ihrer Höhe und Gestalt die relativen Reizwerte (Helligkeitswerte) der einzelnen Wellenlängen sowohl für das Stäbchen-Dämmerungs- als auch das Zapfen-Tagessehen abgelesen werden können, ist das Auftreten des negativen Vorschlags (und damit das des Aus-Effektes) weitgehend an das Vorhandensein von Zapfen bzw.

[1]) Entsprechendes würde für die von G. E. MÜLLER (1896, 1925), SCHENCK (1907) und SCHJELDERUP (1920) und evtl. auch KÖNIG (1893) und LADD-FRANKLIN (1893) aufgestellten Theorien gelten. — Daß G. E. MÜLLER bezüglich der retinalen Grundlage des Helligkeitssinnes so zutreffende (vgl. v. STUDNITZ 1940a), bezüglich der des Farbensehens dagegen so stark abwegige Vorstellungen entwickelte, ist darin begründet, daß man seinen „Schwarzprozeß" beim Schwarzweißsehen, im Gegensatz zu den anderen „assimilatorischen" Vorgängen innerhalb des Sehapparates, lediglich aus einem eine Verminderung stets der gleichen Empfindungsqualität bedingenden Erregungsausfall hervorgehen lassen kann.

[2]) Vgl. hier jedoch KOHLRAUSCH (1929), der ebenfalls, und zwar auf elektrophysiologischer Basis, verschiedene Erregungsformen innerhalb des Opticus annimmt, die er mit einem Frequenz*wechsel* näher definiert!

das einer Helladaptation gebunden (Zusammenfassendes: v. STUDNITZ 1940a, c). Diese Verschiedenheiten erschließen uns also abermals eine Dualität innerhalb des Zapfenapparates und lassen uns diese *erstmalig* (vgl. noch: v. STUDNITZ 1940 a, c, S. 152!) eben *auf Grund unserer Vorstellungen über das Vorhandensein zweier grundsätzlich voneinander verschiedener Erregungstypen in Retina und Zapfen überhaupt erst verstehen: „b" ist ein Ausdruck der* (den Stäbchen wie Zapfen gleicherweise eigenen) *H-Erregung, „a" und „d" veranschaulichen die ausschließlich den Sehzellen des Tagessehens zukommende F-Erregung*[1])*!*

Der unterschiedliche Anteil, den die einzelnen Zapfentypen bzw. ihre Farbsubstanzen an der Bildung der H-Erregung besitzen, wird gleichfalls auf elektrophysiologischem Wege deutlich, und zwar durch die Ergebnisse HARTLINES (1938) und GRANITS und SVAETICHINS (1939), die auf Grund jener soeben erworbenen Erkenntnis über den zwischen b und H und a/d und F bestehenden Zusammenhang ebenfalls erstmalig überhaupt erst verstanden werden können: Bei Ableitung des Belichtungspotentials einzelner Elemente der — gemischten — Froschretina ergeben sich unter diesen 3 verschiedene Typen. Am häufigsten sind Elemente, die wohl bei Verdunklung einen Aus-Effekt, nicht jedoch bei Belichtung[2]) eine b-Welle aufweisen; wir könnten sie den die Blau- bzw. Rotsubstanz enthaltenden 2 Zapfentypen, die an der Bildung der H-Erregung zumindest den geringsten Anteil haben, gleichsetzen[3]). Verständlicherweise weniger häufig finden sich Elemente, die sowohl bei Belichtung die positive Eintrittsschwankung als auch bei Verdunklung den Aus-Effekt zeigen; sie dürften vorwiegend den die Gelbsubstanz bergenden Zapfen entsprechen. Und am wenigsten sind Fasern anzutreffen, die nur auf die Belichtung (mit „b"), nicht aber auf die Verdunklung reagieren: wir können für sie die (unter den gewählten Adaptationsbedingungen wenig mehr in Tätigkeit befindlichen) Stäbchen in Anspruch nehmen. — Das Endglied dieser Kette von Folgerungen scheint mir der von GRANIT und SVAETICHIN aus ihren, die spektrale Empfindlichkeit der einzelnen Elemente darstellenden Kurven gezogene Schluß zu bilden, daß diese nicht wohl anders als durch die Annahme von mindestens 3 verschiedenen Zapfentypen erklärbar seien, deren jeweilige Empfindlichkeitsmaxima zwischen 450—480 bzw. 500—530 bzw. 580—600 mμ gelegen sein müßten!

Fragen wir uns nun noch nach den Empfindungen, die die — vermutlich ursprünglicheren und phylogenetisch älteren — der Helligkeit dienenden und die H-Erregung aufnehmenden Ganglienzellen hervorrufen, so kann die Antwort darauf wohl nur lauten: „farblos" Grau bzw. Weiß!

Hierfür spricht zunächst sehr deutlich das Farblos-(Weiß-)werden sehr lichtstarker, aber auch lichtschwacher oder die Farbzeitschwelle unterschreitender, also zu kurz gebotener farbiger Reize: Im ersteren Falle dürfte die die F-Erregung bildende Molekülgruppe des Sehstoffes durch totale Zersetzung erschöpft, im letzteren infolge größerer Trägheit gegenüber der die H-Erregung produzierenden noch nicht wirksam angegriffen worden sein.

Bedeutungsvoll ist hier v. HELMHOLTZ' (1, S. 377) Feststellung, „daß jede, auch die gesättigste objektive Farbe subjektiv mit Weiß gemischt ist", in Zusammenhang mit der weiteren, nach der er die (die Helligkeit bestimmende) Lichtstärke unmittelbar der „Quantität Weiß" gleichsetzt (2, S. 333, vgl. auch HECHT 1931). Wenn letzteres, insbesondere von v. TSCHERMAK (1929), uneingeschränkt nur für die farblose Graureihe zugegeben wird, so wäre hier schon rein theoretisch nach der Berechtigung einer Trennung zwischen den Grundlagen und Bedingtheiten an sich doch schließlich gleicher (vgl. hier PREYER 1881, NAGEL 1909) Empfindungen zu fragen[1]).

Damit wird der H-Erregung bzw. den durch ihre Ganglienzellen bewirkten Empfindungen aber ein entscheidender Einfluß auf die *Sättigung* der Farben zugestanden, die ja dem Weißanteil einer Farbe umgekehrt proportional ist.

Die Prüfung der Identifikation von Helligkeit und Weißanteil von dieser Seite ergibt abermals starke Anhaltspunkte für ihre Berechtigung: Die Sättigungs-

[1]) Eine merkwürdige Diskrepanz liegt zunächst noch darin, daß, wie gezeigt wurde, die F-Erregung für Störungen am Leitsubstrat offenbar empfindlicher ist als die H-Erregung, andererseits aber gerade „b" durch mechanische (KÜHNE und STEINER 1881, GRANIT und RIDDELL 1934), thermische (NIKIFOROWSKY (1911) und chemische (GRANIT 1938, HIMMELMANN und ROSEMANN 1938, HIMMELMANN 1940) an Retina und Bulbus gesetzte Insulte viel leichter unterdrückt bzw. „geschädigt" werden kann als „a" und „d". Hier dürfte der *Ort* der Schädigung eine Rolle spielen. — Sehr auffällig ist in diesem Zusammenhang ferner folgende Parallele: Eine Negativität im ERG. bedeutet eine Senkung, eine Positivität eine Steigerung der Impulsfrequenz im Opticus (GRANIT 1936, 1938). Gerade in einem Frequenzwechsel aber sieht KOHLRAUSCH (1929) das Wesentliche der zur Farbempfindung führenden Impulse.

[2]) Daß sich F nicht bereits bei Belichtung durch einen negativen Vorschlag äußert, mag an der außerordentlich geringen Ausbildung gerade dieser Potentialstufe liegen.

[3]) Daß das Maximum von „d" selbst innerhalb einer Faser schwanken kann (z. B. 530, 560, 580 mμ), dürfte ebenso auf Einflüsse von Adaptation und gegenseitiger Interaktion zurückzuführen sein wie die schwankende Lage des „b"-Maximums (zwischen 530—580 mμ) an sich.

[1]) In seinem am 21. III. 1941 vor der Naturforscherakademie in Halle gehaltenen Vortrag sprach aber A. v. TSCHERMAK in der HERINGschen Terminologie von der Zapfensubstanz (im alten Sinne, mithin im Wesentlichen der Gelbsubstanz) direkt als von dem „Weiß-Sehstoff"!

grade der Farben fallen (v. HELMHOLTZ, 1) mit steigender Helligkeit bzw. „Gelblichkeit": Violett — Indigo — Rot — Cyanblau — Orange — Grün — Gelb; hiermit steht in Zusammenhang, daß die Kurve der Helligkeitsverteilung beim Tagessehen weitgehende Übereinstimmung mit der der Sättigungsdifferenzen aufweist. Bei zusammengesetzten Farben, d. h. durch die Zersetzung mehrerer Farbsubstanzen entstehenden Empfindungen, ist zu berücksichtigen, daß sich die H-Erregungen (Zusammenfassendes bei v. STUDNITZ 1940a), und zwar auch beim Farbensehen [vgl. insbesondere KOHLRAUSCH 1920, 1925[1])], einfach summieren.

Lediglich wieder aus von Wellenlänge zu Wellenlänge und Intensität zu Intensität verschiedenen H/F-Beeinflussungen ist es verständlich, daß jede Farbe nur eine Lichtstärke besitzt, „bei welcher sie vollkommen frei von jeder Beimischung und satt erscheint" (PREYER).

4. Die komplementären Farben.

Zum Zustandekommen der aus komplementären Farben „gemischten" Weißempfindung ist nach dem Vorhergehenden lediglich zu fragen, wieso die durch die F-Ganglienzellen vermittelten Empfindungen — zumindest subjektiv — zum Erlöschen gebracht werden, so daß ausschließlich die durch die H-Ganglienzellen bewirkten verbleiben.

Schon durch diese Fragestellung weichen wir grundsätzlich von der alten v. HELMHOLTZschen Auffassung ab, nach der das aus Komplementärfarben gemischte Weiß eine durch die *Addition* von Teilempfindungen entstehende neue Empfindung darstellt und betrachten es mit HERING als ein *Subtraktions-* oder *Restphänomen!* Damit wird auch der so oft betonte einheitliche und selbständige Charakter der Weißempfindung abermals (vgl. v. KRIES' „Zonentheorie") durchaus erklärlich, ohne daß es nötig wäre, ihm, wie HERING, ein spezielles Rezeptorensystem zugrunde zu legen (vgl. schon: v. KRIES 1909) oder gar seinetwegen die komplexe Natur des physikalischen Reizes zu leugnen (GOETHE 1810)!

Daß die Weißempfindung nicht, wie v. HELMHOLTZ vermutete und wie es FEDOROW (1924; vgl. auch LASAREFF) gar seinen Berechnungen der „Empfindungsformeln" und -kurven zugrunde legte, auf einer gleich starken Zersetzung aller Farbsubstanzen beruhen kann, ergibt sich ferner ohne weiteres aus einem Vergleich bzw. einer Addition der den einzelnen Komplementärfarben auf den Absorptionskurven der Farbsubstanzen (Fig. 2) zukommenden Ordinaten. Diese Summe der Ordinaten zueinander komplementärer Wellenlängen schwankt zwischen 95 und 152 (100 = Maximum der Gelbkurve), der Anteil der Blausubstanz zwischen 55 und 72, der der Rotsubstanz zwischen 2 und 44 und endlich der der Gelbsubstanz (in umgekehrter Reihenfolge) zwischen 1 und 78; in jedem Falle sind aber alle 3 Farbsubstanzen an dem Zustandekommen des Weiß beteiligt.

Es fällt auf, daß sich Rot- und Gelbsubstanz sehr weitgehend gegenseitig vertreten können, während der Anteil der Blausubstanz an einer Komplementärmischung offenbar eine gewisse, mehr oder weniger konstante Höhe behalten muß, damit die Weißempfindung zustande kommen kann. Eine derartige Sonderstellung des Blau geht auch aus der von F. EXNER (1902) betonten Tatsache hervor, nach der Beimengung blauen Lichtes einen relativ geringen Einfluß auf die Gesamthelligkeit ausübe, was schon ihn zu der Annahme veranlaßte, daß der Empfindung Weiß ein von 1:1:1 abweichendes Erregungsverhältnis der 3 Komponenten entspreche.

Die gegenseitige Aufhebung der zu den farbigen Empfindungen führenden Erregungen und damit das subjektive Hervortreten des (empfindungsmäßig „leichteren") Weiß ist nur auf Grund einer also auch hier notwendigerweise vorauszusetzenden Interaktion zwischen den die einzelnen farbigen Empfindungen bewirkenden Ganglienzellen und einer für jede Wellenlänge und Intensität charakteristischen Erregungsform (H/F-Beeinflussung in der Retina) in ihnen verständlich, ohne daß es bisher möglich wäre, über deren Natur mehr als spekulative Vermutungen zu äußern.

Bemerkenswert ist, daß derartige Erregungsreste offenbar bereits innerhalb der Zone der die Farbenempfindungen erzeugenden Ganglienzellen möglich sind. So entsteht durch Mischung gelblichroten, urgrünen und urblauen Lichtes ein Weißeindruck; wird die blaue Komponente abgeblendet, so resultiert die Empfindung Gelb, dessen Gegenfarbe ausgefallen ist, während sich Rot und Grün weiterhin zu Weiß ergänzen.

Lediglich durch das Vorhandensein derartiger Interaktionen in Verbindung mit einem solchen bestimmter Erregungsformen der einzelnen Ganglienzellen ist auch das Auftreten der (*simultanen* und *sukzessiven*) *Kontrasterscheinungen* verständlich. Die in den Ganglienzellen eines Zapfentyps (einer Farbsubstanz) einlaufende Erregung ist zweifellos in der Lage, in die zentralen Vertreter jeder der beiden anderen Zapfensorten „einzufließen". Wenn sie nun dort von sich aus die der spezifischen Energie dieser Ganglienzelle entsprechende Empfindung zu erzeugen vermag (z. B. negatives farbiges Nachbild), als auch ebensowohl die Verstärkung (Simultankontrast) wie umgekehrt Aufhebung (Komplementärmischungen) einer etwa bereits vorhandenen Eigenerregung der betreffenden Ganglienzelle bewirken kann, so ist das nicht gut anders als durch die Einwirkung von in jedem Falle anderen Erregungsformen zu verstehen. Die zeitliche Aufeinanderfolge etwa der verschiedenen Nachbildphasen wäre im Sinne PLATEAUS, v. HELMHOLTZ', LASAREFFS 1923, OEHRWALLS 1923 u. a. als eine unterschiedliche Dauer bzw. ein verschieden rascher Ablauf der an die einzelnen Farbsubstanzen bzw. ihre zentralen Vertreter gekoppelten Vorgänge aufzufassen.

[1]) Wenn hier die mit dem direkten heterochromatischen Vergleich erhaltenen Ergebnisse nicht so eindeutig ausfallen wie die mit der Flimmermethode gefundenen, so liegt das ohne Zweifel an der in der ersten Methode begründeten Schwierigkeit, empfindungsmäßig vom Farbwert zu abstrahieren (vgl. v. STUDNITZ 1940a).

Kontrastwirkungen innerhalb *eines* Elemententyps (z. B. Schwarz-Weiß-Kontrast, auch Simultankontrast) haben offenbar eine lediglich quantitative Basis: Hier hemmt die stärkere Erregung die schwächere und fördert letztere die erstere, welche Wirkungen sich nur bei Gleichheit beider (gleiche Helligkeit von In- und Umfeld) gegenseitig aufheben. — Das Ineinandergreifen von H- und F-Apparat beweist der entscheidende Einfluß, den der Helligkeitskontrast zwischen In- und Umfeld auf die Sättigung bzw. das Merklichwerden der Kontrastfarbe besitzt.

Daß den Kontrastwirkungen vorwiegend zentrale Interaktionen zugrunde liegen, ergeben v. TSCHERMAKS (1929) Beobachtungen über Auftreten des Simultankontrastes an Stellen eines infolge Neuritis des Opticus entstandenen zentralen Skotoms. Nach GUTTMANNS (1920) Untersuchungen ist jedoch die Möglichkeit einer bereits retinalen Kontrastentstehung zumindest sehr wahrscheinlich gemacht; schon A. FICK (1879), der, ebenso wie HERING, den Simultankontrast vorwiegend retinal bedingt sein lassen wollte, nahm als mögliches Substrat für diese Vorgänge die zwischen den einzelnen „Elementen" (Bipolaren) bestehenden Querverbindungen in Anspruch.

5. *Vergleichendes.*

Ein Blick auf die sich durch das Vorstehende für die *Vergleichende* Physiologie ergebenden Aufgaben und Möglichkeiten erscheint um so unvermeidlicher, als unsere gesamten Deduktionen ihren Ursprung aus eben dieser Wissenschaft nehmen, der ohne die ihr eigene Betrachtungsweise kaum jemals ermöglicht worden wäre (vgl. v. STUDNITZ 1941).

Als Grundlage alles Weiteren würde auch hier die Ermittelung der Zahl und Spektralabsorption der jeweiligen Farbsubstanzen im Vordergrund stehen. Was dabei die Wirbellosen anbelangt, wäre diese Aufgabe heute noch fast (vgl. v. STUDNITZ 1940a, S. 179ff, speziell GRAWERT, S. 180) ohne Beispiel und Anhaltspunkt. Bei den Wirbeltieren können wir wohl überall dort, wo die Retina überhaupt Zapfen in nennenswertem Maße aufweist, das Vorhandensein dreier Farbsubstanzen mit weitgehender Übereinstimmung der maximal absorbierten Wellenlängen (vgl. v. STUDNITZ 1937, 1940a, c) und spektralen Wirkungsbereiche annehmen, die unserer Übertragung der an der Netzhaut der Ringelnatter gefundenen Verhältnisse auf den Menschen überhaupt erst ihre Berechtigung verleiht[1]), ohne daß sich dadurch jedoch eine breitere vergleichende Untersuchung erübrigen würde; einer solchen steht vorläufig noch die Unmöglichkeit entgegen, Farbsubstanzen und Ölkugeln in der Lösung voneinander zu trennen (vgl. 1940d, 1941).

Unterschiede in der Ausbildung (Konzentration) einzelner Farbsubstanzen sind nun jedoch ganz offensichtlich von einer Wirbeltierklasse zur anderen vorhanden (1940d, 1941), die bisher insbesondere für die Rotsubstanz merkbar wurden und ebenfalls zu genaueren Vergleichen anregen. Man könnte versucht sein, bei einem Tier etwa festgestellte auffällig geringe Farbwerte bestimmter Bereiche (z. B. GRETHER 1939, 1940 für das Rotsehen verschiedener Affen, BIRUKOW 1939 für das Gelbsehen des Frosches) bereits auf diesen Faktor bzw. eine zweifellos mit ihm einhergehende geringe F-Erregung zu beziehen. — Ebensowohl wäre eine derartige Schwäche des Farbensinns aber auch zentral möglich durch geringere Entwicklung der F-Ganglienzellen oder ihrer spezifischen Energien, die mit denen der benachbarten Farbzentren noch mehr oder weniger übereinstimmen; gerade BIRUKOWS Befund von der geringen Gelbsichtigkeit des Frosches spricht sehr in diesem Sinne. Bei diesem Tier ist die Gelbsubstanz stark ausgebildet und weist ein ebenso die Helligkeit der einzelnen Spektralbereiche bestimmendes, bei 560 mμ gelegenes Maximum auf wie bei uns Menschen. Die Frage, ob der geringe Farbwert gelber Bereiche in dem hier vorliegenden Falle vorwiegend peripher oder zur Hauptsache zentral bedingt ist, kann — bei unserer vorläufigen Unkenntnis der Konstitution der Farbsubstanzen bzw. der die H- und F-Erregungen bildenden Molekülgruppen — nur die Elektrophysiologie beantworten: in der Tat zeigt die Froschretina, an der ja gerade GRANIT und SVAETICHIN arbeiteten, Aus-Effekt-Maxima auch im gelben Gebiet, so daß der weitgehende Ausfall dieser Farbe für den Frosch wohl nur durch den umrissenen geringen Entwicklungsgrad der („gelben") F-Ganglienzellen bedingt sein kann. Es ist klar, daß dadurch auch eine relativ schwache Ausbildung der Grünsichtigkeit bedingt ist (vgl. BIRUKOW). — Umgekehrt hat die mangelhafte Rotsichtigkeit von GRETHERS Affen einen wohl mehr peripher-photochemischen Grund: eine Weißempfindung war bei ihnen durch eine (Rotgrün-) Mischung der gleichen Wellenlängen zu erzielen wie bei uns, doch bedurfte es dazu von Art zu Art wechselnder und gegenüber den beim Menschen erforderlichen stets höherer Rotanteile.

Das aus diesem Beispiel weiterhin hervorgehende Vorhandensein komplementärer, sich zu Weiß ergänzender Wellenlängen auch bei Affen gibt zunächst einen deutlichen Hinweis darauf, daß die für den Menschen angenommenen zentralen Interaktionsmechanismen nicht auf diesen beschränkt sind. Darüber hinaus aber zeigt es, daß mit eben diesen Interaktionen auch die Erscheinungen einhergehen, auf Grund deren wir die Existenz derartiger Mechanismen, ferner die von Wellenlänge und Intensität abhängiger Erregungsformen, H- und (wieder in sich verschiedener) F-Erregungen und deren gegenseitige Beeinflussung bestätigt fanden: Komplementärmischungen und auch Simultankontrast. Das ist von um so grundsätzlicherer Bedeutung, als eben diese die nervösen Grundvorgänge der Farbunterscheidung beleuchtenden Erscheinungen auch bei im System

[1]) Hier sei auch an die weitgehende Übereinstimmung des Sehpurpurs innerhalb der Wirbeltierreihe erinnert.

denkbar weit voneinander entfernten farbensehenden Tieren auftreten[1]) (vgl. z. B. GRETHER für Affen, HAMBURGER 1926 für die Elritze, KÜHN 1921, 1929, M. HERTZ 1927 für die Biene, O. KOEHLER 1924 für *Daphnia*) und damit eine allgemeine und offenbar notwendige Vorbedingung der Farbunterscheidung oder (bezügl. der Komplementärmischungen und simultanen Kontraste) auch zwangsläufige Folge der sie ermöglichenden nervösen Mechanismen darstellen.

Eine andere Frage wäre die nach der Zahl der an sich möglichen Farbenempfindungen bei den einzelnen Tieren, die wir sowohl durch die Absorptionshöhe als auch durch die — Mischempfindungen ermöglichenden — zentralen Interaktionen bei gleichzeitiger Reizung zweier Farbsubstanzen bedingt fanden. Daß beide Faktoren ebenfalls wohl ganz allgemein dort, wo überhaupt ein Farbensehen auftritt, eine Rolle spielen, scheint mir die zum Teil große Zahl verschiedenfarbiger Empfindungen (z. B. WOLFF 1925: 24 bei der Elritze) bzw. die Unterscheidungsfähigkeit z. B. der Bienen auch innerhalb ihrer 4 Hauptreizqualitäten (KÜHN 1929) und endlich die Tatsache zu erweisen, daß auch *Daphnien* sehr hohe Intensitäten farbigen Lichtes nicht mehr qualitativ zu werten vermögen (KOEHLER 1924); nach GRETHERS Ergebnissen an Affen scheinen aber selbst diese Tiere (und damit wohl erst recht die übrigen Wirbeltiere oder gar die Wirbellosen) in ihrem Unterscheidungsvermögen und damit auch in der Zahl der von ihnen gesehenen Farbentöne merkbar hinter uns zurückzustehen, wofür vorwiegend zentralnervöse Faktoren verantwortlich sein dürften.

Die Zahl der Grundempfindungen endlich wird durch die Bezirke ermittelt, innerhalb deren die Fähigkeit, benachbarte Wellenlängen voneinander zu unterscheiden, optimale Werte erreicht (z. B. WOLFF 1925), wobei jedoch, insbesondere bei Wirbeltieren, die Einlagerung gefärbter Vorstufen vor dem eigentlichen Rezeptionsort (vgl. v. STUDNITZ 1941) erhebliche Einschränkungen und Verschiebungen gegenüber dem Farbensinn des Menschen hervorzubringen vermag (WAGNER 1932, WOJTUSIAK 1932, PLATH 1935), ohne daß wir diese zunächst auf die Farbsubstanzen selbst zu beziehen berechtigt wären. Näher liegt dies bei den Wirbellosen, wo derartige den Strahlenweg blockierende gefärbte Vorstufen zumindest bisher noch nicht nachgewiesen wurden und die größeren Abweichungen in Zahl und Lage der Hauptfarbbereiche (vgl. z. B. KÜHN 1929, v. BUDDENBROCK 1937) gegenüber denen der Wirbeltiere wenigstens vorläufig den Farbsubstanzen selbst zugeschrieben werden dürfen. Auf Grund unserer Erfahrungen ist jedoch auch hier davor zu warnen, die Zahl der Farbsubstanzen der der Grundempfindungen ohne weiteres gleichzusetzen, besonders dann, wenn es sich um deren mehr als zwei handelt.

[1]) Besonders bedeutungsvoll ist in diesem Zusammenhange der 1939 von JAHN und CRESCITELLI erstmalig erhobene Befund einer negativen Vorschwankung und eines Aus-Effektes (F-Erregung) in den Augen auch der wirbellosen Tiere (Fazettenauge verschiedener Insekten)!

Schriftenverzeichnis.

W. DE ABNEY, Philos. Trans. **193** (1900); **205** (1906) — Proc. roy. Soc. Lond. **87** (1912). — J. BERNSTEIN, Pflügers Arch. **156** (1914). — G. BIRUKOW, Z. vergl. Physiol. **27** (1939). — W. v. BUDDENBROCK, Grundriß der vergl. Physiol., 2. Aufl., 1 (1937). — E. BRÜCKE, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin 1878. — F. C. DONDERS, Graefes Arch. **27** (1881). — EDRIDGE-GREEN, Proc. roy. Soc. Lond. **82** (1910); **84** (1911); **204** (1923). — F. EXNER, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **1902**. — N. T. FEDOROW, Pflügers Arch. **202** (1924). — A. FICK, Hermanns Handbuch der Physiologie **3**, 1 (1879). — K. S. GIBSON, J. opt. Soc. Amer. **30** (1940). — H. GOLDMANN, Pflügers Arch. **104** (1922). — W. v. GOETHE, Farbenlehre 1810. — R. GRANIT, Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven. Kopenhagen 1936 — Docum. Ophthal. 1 (1938). — R. GRANIT u. P. RIDDELL, J. Physiol. **81** (1934). — R. GRANIT u. B. SVAETICHIN, Uppsala Läk.för. Förh. **45** (1939). — W. F. GRETHER, Comp. Psychol. Monogr. **15** (1939) — J. comp. Psychol. **29** (1940). — A. GULLSTRAND, Graefes Arch. **62** (1906). — A. GUTTMANN, Z. Psychol. **51** (1920). — V. HAMBURGER, Z. vergl. Physiol. **4** (1926). — G. HARTLINE, Amer. J. Physiol. **1938**. — S. HECHT, Erg. Physiol. **32** (1931). — H. v. HELMHOLTZ, Physiologische Optik. 1. Aufl., 1865; 2. Aufl., 1896; 3. Aufl., 1909 — Z. Psychol. **3** (1892). — E. HERING, Reden. Leipzig 1921. — M. HERTZ, Z. vergl. Physiol. **25** (1937). — W. HIMMELMANN u. H. U. ROSEMANN, Z. Biol. **99** (1938). — W. HIMMELMANN, Z. Biol. **100** (1940). — DE LA HIRE, Mem. de l'Acad. Sc. **1711**. — TH. L. JAHN u. F. CRESCITELLI, J. cell. comp. Physiol. **13** (1939). — F. CRESCITELLI u. TH. L. JAHN, J. cell. comp. Physiol. **14** (1940). — O. KOEHLER, Z. vergl. Physiol. 1 (1924). — H. KOELLNER, Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, 1 (1929). — A. KÖNIG u. C. DIETERICI, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin **1886** — Z. Psychol. **4** 1889. — A. KOHLRAUSCH, Ber. Physiol. **3** (1920) — Tab. biol. **1** (1925) — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, 2 (1929). — J. v. KRIES, Nachträge zu v. Helmholtz' Physiol. Optik, 3. Aufl., 1909 — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, 1 (1929). — A. KÜHN, Naturwiss. **1921**. — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, 1 (1929). — W. KÜHNE u. J. STEINER, Unters. physiol. Inst. Heidelberg **4** (1881). — CH. LADD-FRANKLIN, Z. Psychol. **4** (1893). — P. LASAREFF, Pflügers Arch. **201** (1923). — v. LIEBERMANN, Z. Sinnesphysiol. **45** (1911). — J. C. MAXWELL, Philos. Trans. **150** (1860). — MÜLLER, Graefes Arch. **15** (1869). — G. E. MÜLLER, Z. Psychol. **10** (1896); **97** (1925). — A. NAGEL, Nachträge zu v. Helmholtz' Physiol. Optik, 3. Aufl., 1909. — P. M. NIKIFOROWSKY, Z. Biol. **57** (1911). — OERUM, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **16** (1904). — H. OEHRWALL, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **43** (1923). — M. PLATH, Z. vergl. Physiol. **22** (1935). — T. C. PORTER, Proc. roy. Soc. Lond. **70** (1902). — W. PREYER, Pflügers Arch. **25** (1881). — RAYLEIGH, Nature (Lond.) **84** (1922). — M. RICHTER, Grundriß der Farbenlehre der Gegenwart. Dresden 1940. — F. SCHENCK, Pflügers Arch. **118** (1907). — SCHJELDERUP, Z. Psychol. **51** (1920). — A. SCHOPENHAUER, Über das Sehen und die Farben. — G. v. STUD-

NITZ, Pflügers Arch. **239** (1937) — Naturwiss. **1934** — Umschau **1939** — Physiologie des Sehens — Retinale Primärprozesse. Leipzig 1940 — Grundvorgänge des Sehens — 100 Jahre Sehstoffe. Halle (Leop.) 1940 — Naturwiss. **1940** — Z. vergl. Physiol. **28** (1940) — Naturwiss. **1941**. — A. v. TSCHERMAK, Pflügers Arch. **82** (1900) — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, 1 (1929) — Graefes Arch. **139** (1938). — VOESTE, Z. Psychol. **18** (1898). — H. WAGNER, Z. vergl. Physiol. **18** (1932). — P. WEISS, Erg. Biol. **3** (1928). — R. J. WOJTUSIAK, Z. vergl. Physiol. **18** (1932). — H. WOLFF, Z. vergl. Physiol. **3** (1925). — TH. YOUNG, Philos. Trans. **1802**. — A. ZAHN, Z. Sinnesphysiol. **46** (1912).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über Elektronenbewegungen in Plasmen und einige Anwendungen.

Ein Plasma sei charakterisiert durch eine konstante positive ruhende Ladungsdichte (p Coul/cm^3), durch welche sich Elektronen hindurchbewegen.

Denkt man sich ein mit den Elektronen bewegtes Koordinatensystem von der Geschwindigkeit v, so ist, eindimensional, die gesamte Stromdichte

$$i = pv + \Delta \frac{dE}{dt}. \tag{1}$$

Das Bewegungsgesetz der Elektronen sei

$$eE = m\frac{dv}{dt} + rv, \tag{2}$$

wo $r = e/b$ einen Reibungskoeffizienten (b = Beweglichkeit der Elektronen) bedeutet. Differenziert man 2 nach t und setzt dE/dt aus (1) ein, so entsteht

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{r}{m}\frac{dv}{dt} + \frac{ep}{m\Delta}v = \frac{ei}{mp}. \tag{3}$$

Die endgültige Geschwindigkeit ist $v_e = i/p$. Diese wird von der Eintrittsstelle $t = 0$ aus aperiodisch oder periodisch erreicht, je nachdem, ob

$$\frac{r^2}{4m^2} \gtrless \frac{ep}{m\Delta}$$

ist. $\sqrt{\frac{ep}{m\Delta}} = \lambda$ ist die von LANGMUIR entdeckte Eigenfrequenz des Plasmas, die bei den üblichen Hg-Plasmen etwa $10^{10}\,\mathrm{sek}^{-1}$ beträgt. Besonders bei niedrigen Drucken (r klein, b groß) tritt der oszillatorische Fall ein, d. h. die Elektronen führen gedämpfte Geschwindigkeitspendelungen während ihrer Bewegung aus. Es gilt dann angenähert

$$\left(\lambda^2 > \frac{r^2}{4m^2}\right) \qquad v = (A\sin\lambda t + B\cos\lambda t)\, e^{-\frac{r}{2m}t} + \frac{i}{p}.$$

Der Verlauf des zugehörigen elektrischen Feldes kann aus Gl. (2) bestimmt werden, die Spannung gegen die Eintrittsstelle U als $\int_0^t E\,v\,dt$ und der Weg s als $\int_0^t v\,dt$. Die Elimination von t aus der Gl. für U und s ergibt die Strom-Spannungscharakteristik der Entladung. Während sich nach Abklingen der Schwingungen ($t \to \infty$, entsprechend $s = \infty$) das bekannte OHMsche Gesetz ergibt, zeigen sich vorher bei kleinerem s abwechselnd positive und negative Charakteristiken, d. h. U nimmt abwechselnd zu und ab mit i.

Nahe der Eintrittsstelle der Elektronen in das „Plasma" sind also anomale Zustände zu erwarten, die auch zu Schwingungen Anlaß geben können. Eine lange positive Säule wirkt weiter als Stabilisierungswiderstand in Reihe.

Insbesondere zeigt sich, daß schnelle Elektronen beim Eintritt in ein Plasma äußerst rasch abgebremst werden. Vernachlässigt man zunächst die Reibung r, so ergibt sich für v

$$v = \frac{2}{m}\frac{E_0}{\lambda}\sin\lambda t + \left(v_0 - \frac{i}{p}\right)\cos\lambda t + \frac{i}{p},$$

wo E_0 die Feldstärke beim Eintritt der Elektronen in das Plasma und v_0 die Eintrittsgeschwindigkeit ($t = 0$) bedeuten. Ist $v_0 > i/p$, so ist für $\lambda\tau = \pi$ ein Geschwindigkeitsminimum von der Größe $v_{\min} = 2\frac{i}{p} - v_0$ vorhanden. Ist $v_0 = 2\frac{i}{p}$, so sinkt die Geschwindigkeit auf Null, ist v_0 größer, so wird sie negativ. Für diesen Fall gilt die Gl. (1) nicht mehr. Mit einem allgemeineren Ansatz kann man zeigen, daß sich dann für $\lambda\tau < \pi$ eine virtuelle Kathode — eine ruhende Elektronenwolke — bildet, an der die Elektronen ihre Wanderung mit der Geschwindigkeit Null beginnen. Durch den dauernden Reibungseinfluß wird in diesen Schichten, die meist sehr dünn sind, sehr rasch die Umsetzung der Strahlgeschwindigkeit in die ungeordnete MAXWELLsche Geschwindigkeitsverteilung durchgeführt. Setzt man $\lambda\tau = \pi$, so wird $\tau = \pi/\lambda$, d. h. in der Größenordnung von 10^{-9} sek bei üblichen Hg-Plasmen. Das erste Glied in v mit E_0 ist meist zu vernachlässigen. Der in der Zeit t zurückgelegte Weg ist

$$s = \frac{e}{m}\frac{E_0}{\lambda^2}(1 - \cos\lambda t) + \frac{1}{\lambda}\left(v_0 - \frac{i}{p}\right)\sin\lambda t + \frac{i}{p}t.$$

Für $\lambda\tau = \pi$ findet man

$$s_\tau = 2\frac{e}{m}\frac{E_0}{\lambda^2} + \frac{i}{p}\frac{\pi}{\lambda},$$

d. h. es ist unabhängig von v_0. Je rascher die Elektronen eingeschlossen werden, um so eher sind sie abgebremst, da für rasche Elektronen ($v_0 \gg i/p$) die Stoppstrecke immer kleiner gegen π/λ wird. Der Weg s_τ ist wesentlich durch $\frac{i}{p}\frac{\pi}{\lambda}$ bestimmt. Für übliche Hg-Plasmen wird er etwa $\frac{1}{10}$ — 1 mm, kann aber bei kleinen positiven Dichten p und großen Stromdichten erheblich größer werden. Der Verlauf des elektrischen Feldes ist durch

$$E = \frac{m}{e}\frac{dv}{dt} = E_0\cos\lambda t - \lambda\frac{m}{e}\left(v_0 - \frac{i}{p}\right)\sin\lambda t$$

gegeben. Das ursprüngliche Feld E_0 klingt ab und kann in ein Gegenfeld übergehen, das die Elektronen bremst.

Interessant ist auch der Fall, daß die Elektronen in eine gleichnamige Ladung hineinlaufen ($p < 0$), z. B. in eine Wolke angelagerter (zu negativen Ionen gewordener) Elektronen. In diesem Fall folgt aus Gl. (3), daß keinerlei Schwingungszustände in der Geschwindigkeit möglich sind, sondern nur aperiodische, wobei der eine Exponentialfaktor positiv ist, d. h. daß die Geschwindigkeit exponentiell mit wachsender Zeit anwächst, um so rascher, je größer $ep/m\Delta$ gegen r/m ist. Eintretende Elektronen werden also beschleunigt.

Vernachlässigt man auch hier die Dämpfung, so erhält man mit $n = -p$ ($n > 0$):

$$v = E_0\frac{e}{m\lambda}\mathfrak{Sin}\,\lambda t + \left(v_0 + \frac{i}{n}\right)\mathfrak{Cos}\,\lambda t - \frac{i}{n},$$

$$E = E_0\mathfrak{Cos}\,\lambda t + \frac{\lambda m}{e}\left(v_0 + \frac{i}{n}\right)\mathfrak{Sin}\,\lambda t,$$

d. h. sowohl v als auch E wachsen monoton an.

Dem Anwachsen in inf. ist eine Grenze gesetzt durch den Energieverlust durch Anregung und Ionisation. Es können dadurch so viele positive Ionen erzeugt werden, daß die negative Raumladung ausgeglichen oder im Vorzeichen umgekehrt wird, so daß dann wieder ein Vorgang mit positiver Dichte p folgt, in dem Geschwindigkeit und Feld abnehmen, bis durch Elektronenanlagerung wieder ein Gebiet negativer Dichte zustande kommt. Dieser Mechanismus dürfte bei der Bildung der geschichteten positiven Säule von Bedeutung sein (s. z. B. R. SEELIGER, Gasentladungen. 1934, S. 332 und 333).

Die bisher gemachte Annahme $p = \text{const}$ ist für das Zustandekommen der beschriebenen Erscheinungen nicht notwendig. Man kann auch für den Fall *bewegter* Ionen [entspr. Gl. (2)] zeigen, daß auch dann ähnliche Erscheinungen auftreten, nur werden die Formeln komplizierter. Es sind immer dort die Ionen am langsamsten, wo die Elektronen am schnellsten sind, und umgekehrt.

(Weiteres in einer demnächst erscheinenden Arbeit.)

München, Elektrophysikalisches Laboratorium des Elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule, den 28. Mai 1941. W. O. SCHUMANN.

Eine übersehene Kartoffelvirose.

In einzelnen Kartoffelproben aus Schlesien, Mark Brandenburg, Sachsen, Berlin, wurde zuweilen in beträchtlicher Häufigkeit außer dem Blattrollvirus noch ein anderes Virus angetroffen, das mit dem Saft nicht übertragbar ist. Übertragungsversuche mit der Blattlaus Myzus (= Myzodes) persicae sowie durch Transplantation verliefen positiv. Im Feldbestand ist das Virus bei Reininfektion nach den bisherigen Erfahrungen praktisch latent, ruft aber in Mischinfektion mit anderen Viren schwere Kräuselerscheinungen, unter Umständen mit Kümmerwuchs, hervor. Für den schweren „Abbau" der Kartoffel ist es zu einem guten Teil mit verantwortlich zu machen.

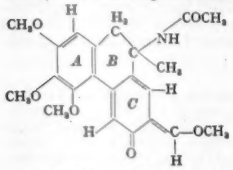
An Gewächshauspflanzen („Augenstecklingen") äußert sich diese Krankheit zunächst durch ein starkes Aufwärtsrollen der Blattfiedern, ähnlich wie bei der Blattrollkrankheit, jedoch verliert sich das Rollen in der Regel rasch wieder. Zum Unterschied von der Blattrollkrankheit bleiben die Blätter weich und biegsam und entwickeln auch nicht die für diese Krankheit charakteristische Gelbchlorose. Später gehen die Sprosse bei manchen Sorten (Altgold, Wohltmann) zu einem gesteigerten Längenwachstum über. Bei den Sorten Altgold und Ackersegen bleiben die Blätter bedeutend kleiner als normal und die Blattfiedern entwickeln sich kleiner und schmäler. Die Blätter zeigen eine schwache, von den Haupt- und Seitennerven der Fiedern ausgehende, diffuse Verfärbung ins Gelblichgrüne, die der ganzen Pflanze ein etwas helleres Aussehen verleiht. Die Rollblätter mancher Sorten (Parnassia, Wohltmann) bilden auf der Unterseite Anthozyanflecken aus.

Da das schwere Kräuseln bei Mischinfektionen ein typisches Symptom ist, wird vorgeschlagen, das Virus als K-Virus (Kräuselvirus) zu bezeichnen. Die Virose ist mit der früher vom Verfasser [Arb. biol. Reichsanst. Land- u. Forstw. **21**, 517 (1935)] unter dem Namen Rollmosaik erstmalig beschriebenen offenbar identisch.

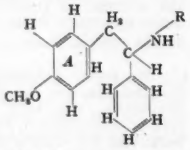
Berlin-Dahlem, Biologische Reichsanstalt, den 31. Mai 1941. E. KÖHLER.

Ein einfaches Mitosegift.

Mitosegifte sind Substanzen, welche die Teilung der Zelle beeinflussen, und zwar zumeist deren Hemmung bewirken. Als bestwirksames Mitosegift ist durch die Untersuchungen von DUSTIN das Colchicin bekannt geworden[1]). Die Frage des Zusammenhangs zwischen der Konstitution des Colchicins und der Mitosegiftwirkung erscheint daher von besonderem Interesse. Mit dieser Frage haben sich BRUES und COHEN[2]) beschäftigt; sie verwendeten als Testobjekt die regenerierende Rattenleber, an der die Wirkung verschiedener Colchicinderivate untersucht wurde. Wir haben für unsere Versuche einmal in der Gewebekultur gezüchtete Hühnerherzfibroblasten[3]) und im Tierversuch den Mäuse-Ascites-Tumor[4]) verwendet. Den Untersuchungen legten wir die Formulierung des Colchicins (Formel I) nach WINDAUS[5]) zugrunde; auf die Unsicherheiten dieser Formulierung, die COOK[6]) diskutiert, soll hier nicht eingegangen werden. Als einfachstes Mitosegift erwies sich das α-Phenyl-β-(p-methoxyphenyl)-äthylamin und sein N-Acetylderivat (Formel II). Das Amin wurde schon 1936 von B. REICHERT und HOFFMANN[7]) dargestellt. An der Gewebekultur war das Amin mit 5 γ/ccm, das N-Acetylderivat mit 10 γ/ccm noch gut wirksam. Colchicin wirkt hierbei nach LUDFORD[8]) noch mit 0,01 γ/ccm, nach eigenen Beobachtungen mit 0,04 γ/ccm.



I. Colchicin nach WINDAUS. Wirksam mit 0,01—0,04 γ/ccm.



II. R = H: wirksam mit 5 γ/ccm. R = $COCH_3$: wirksam m. 10 γ/ccm.

In diesem einfachen Mitosegift sind von der Struktur des Colchicins noch erhalten: der Ring A mit nur einer Methoxylgruppe; der Ring B ist aufgespalten, von ihm sind noch 2 C-Atome und die Aminogruppe erhalten; der Ring C ist zu einer Phenylgruppe vereinfacht. Nach unseren bisherigen Untersuchungen ist eine weitere Vereinfachung des Moleküls unter Erhaltung der Mitosegiftwirkung nicht mehr möglich: im Ring A muß mindestens eine Methoxylgruppe vorhanden sein, die Aminogruppe muß durch 2 C-Atome vom Ring A getrennt sein, und in der Seitenkette muß der Phenylrest vorhanden sein. Offen muß noch bleiben, ob dieser Phenylrest nicht auch durch einen hydrierten Ring oder eine längere aliphatische Kette ersetzt werden kann. Colchicin und dieses einfache Mitosegift erscheinen als Derivate der physiologisch und pharmakologisch bedeutsamen β-Phenyl-äthylamine (Adrenalin, Pervitin, Mescalin) oder allgemeiner der β-Ring-äthylamine, zu denen auch die biogenen Amine Histamin und Tyramin gehören. Die Substitution durch den Phenylrest in der Seitenkette bewirkt den Übergang in die Klasse der Mitosegifte; im Molekül des Colchicins ist dieser Ring in das Phenanthrenskelett eingebaut.

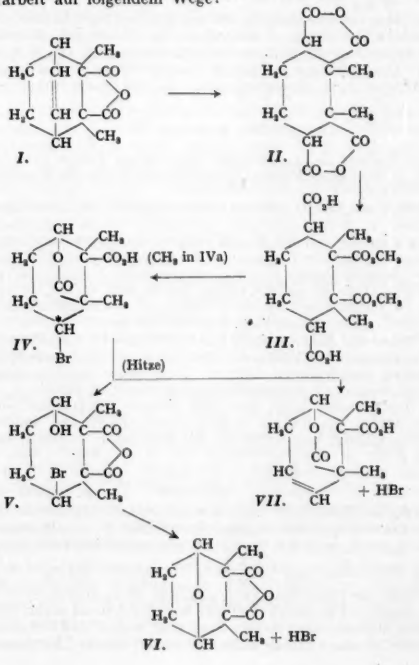
Eine ausführliche Beschreibung unserer Versuche erfolgt in der Zeitschrift für physiologische Chemie.

Berlin, Allgemeines Institut gegen die Geschwulstkrankheiten im Rudolf-Virchow-Krankenhaus, den 10. Juni 1941. HANS LETTRÉ. MARIANNE ALBRECHT. HANS FERNHOLZ.

[1]) Vgl. die Zusammenfassung von RIES, Naturwiss. **27**, 505 (1939).
[2]) Biochemic. J. **30**, 1363 (1936).
[3]) Vgl. LETTRÉ, Angew. Chemie **53**, 363 (1940).
[4]) LETTRÉ, Hoppe-Seylers Z. **268**, 59 (1941) Angew. Chemie **54**, 202 (1941).
[5]) Liebigs Ann. **439**, 59 (1924).
[6]) J. chem. Soc. (Lond.). **1940**, 195, 198.
[7]) Arch. Pharmaz. **274**, 153 (1936).
[8]) Arch. exper. Zellforsch. **18**, 411 (1936).

Synthese des Cantharidins.

Die Synthese des Cantharidins (VI) gelang nach längerer Vorarbeit auf folgendem Wege:



Das Addukt aus Dimethylmaleinsäureanhydrid und Cyclohexadien (I) liefert bei der Oxydation das doppelte Anhydrid II einer Tetracarbonsäure, das sich leicht in einen Dimethylester der Strukturformel III umwandeln läßt. In diesem stehen die veresterten Carboxyle auf einer Seite, die freien Carboxyle auf der anderen Seite der Ringebene.

Das Silbersalz von III liefert mit Brom unter Ersatz der Carboxyle durch Brom und anschließende Abspaltung von CH_3Br den Methylester (IVa) einer Bromlaktonsäure IV, die mit der von GADAMER[1]) aus Cantharidin erhaltenen sog. Hydrobromcantharsäure identisch sein könnte, die aber tatsächlich ein Stereoisomeres dieses bekannten Umwandlungsprodukts des Cantharidins ist. Die Säure wird aus dem Ester mit wässeriger Bromwasserstoffsäure erhalten. Sie schmilzt bei 186°, während Hydrobromcantharsäure (rac) bei 218—220° schmelzen soll. Wir nennen die neue Substanz epi-Hydrobromcantharsäure, da die sterische Verschiedenheit nur durch das eine asym. * C-Atom bedingt sein kann.

GADAMER[1]) hat gezeigt, daß Hydrobromcantharsäure beim Schmelzen etwa hälftig Cantharidin (VI) und Cantharsäure (VII) gibt, wobei sich HBr abspaltet und das Cantharidin vermutlich über ein Zwischenprodukt V entsteht. epi-Hydrobromcantharsäure verhält sich analog, nur ist sie offenbar diejenige der beiden möglichen sterischen Konfigurationen, von der aus die Cantharidinbildung weniger leicht erfolgt. Daher ist das Hauptprodukt ihrer thermischen Zersetzung Cantharsäure (VII), die damit recht glatt synthetisiert ist. Cantharidin (VI) bildet sich nur in Mengen von einigen Prozenten. Es ist zunächst durch seine charakteristische physiologische Wirkung nachgewiesen und schließlich auch in Substanz rein gefaßt und mit natürlichem Cantharidin identifiziert worden.

Die Arbeit wird ausführlich an anderer Stelle publiziert. Die synthetischen Versuche werden fortgesetzt.

Halle a. d. S., Chemisches Institut der Universität, den 1. Juni 1941. K. ZIEGLER. G. SCHENCK. E. W. KROCKOW.

[1]) Arch. Pharmaz. **252**, 660ff. (1914).

Besprechungen.

KRENKEL, E., **Geologie der Deutschen Kolonien in Afrika.** Berlin: Gebr. Bornträger 1939. XXII, 272 S., 1 Titelbild, 5 Tafeln, 65 Textabb. 15 cm × 23 cm. Preis: geh. RM 21.60, geb. RM 24.—

KRENKEL, E., **Der Geologische Bau der Deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee.** (Deutscher Boden, Bd. 11.) Berlin: Gebr. Bornträger 1940. VIII, 127 S., 6 Tafeln, 18 Textabb. 15 cm × 23 cm. Preis: geb. RM 4.80.

In der sicheren Erwartung, daß die uns nach dem Weltkriege geraubten Kolonien zum Reiche zurückkehren, regen sich überall die Kräfte, die ein großes neues Schaffen auf kolonialem Gebiete vorbereiten. So kommen zur rechten Zeit zwei Bücher, die einen Überblick über die Geologie der ehemaligen deutschen Kolonien geben, eines in etwas größerem, das zweite in recht knappem Umfange. Beide haben E. KRENKEL zum Verfasser. KRENKEL ist durch eigene Reisen und durch dauernde Beschäftigung mit den geologischen Fragen Afrikas eine ausgezeichneter Kenner der in Betracht kommenden Verhältnisse. Von ihm stammt eine 4bändige „Geologie Afrikas", die in einem Zeitraume von nicht ganz 15 Jahren erschienen ist.

Was KRENKEL nunmehr bringt, sind nicht etwa nur Wiederholungen aus der „Geologie Afrikas", soweit die deutschen Kolonien in Betracht kommen; vielmehr erfolgt die Darstellung in ganz anderer regionaler Aufteilung, und vielfache Ergänzungen sind, entsprechend den in den letzten Jahren erzielten Fortschritten, gegeben. Beide Bücher geben ein treffendes Bild von den Leistungen der deutschen wissenschaftlichen Forschung im Raume des alten Kolonialbesitzes. Schlußkapitel zu jeder einzelnen Kolonie behandeln die Bodenschätze, ohne daß dabei das Grundwasser als ein z. B. für Deutsch-Südwestafrika so hochwichtiger Bodenschatz vergessen worden wäre. Beide Bücher sind mit Tafeln und Textabbildungen bestens ausgestattet.

Durch die kolonialen Leistungen Deutschlands sind die ehemaligen Kolonien deutscher Boden geworden, und in diesem Sinne ist das kleinere der beiden Werke, „Der geologische Bau der deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee", als ein Band der von S. v. BUBNOFF herausgegebenen Schriftenserie „Deutscher Boden" erschienen. In ihm nimmt die Darstellung der Geologie der Südsee-Kolonien, entsprechend deren Kleinheit und dem verhältnismäßig wenigem, was man schon weiß, nur einen geringen Raum ein. Zur ersten Information über die Geologie der deutschen Kolonien wird das Büchlein gewiß in weiten Kreisen Eingang finden. H. STILLE.

SCHINDEWOLF, OTTO H., **Fortschritte der Geologie und Paläontologie.** Bd. 12, H. 41. „Konvergenzen" bei Korallen und bei Ammoneen. Berlin: Gebr. Borntraeger 1940. VI, 103 S., 1 Tafel und 33 Abbild. 16 cm × 25 cm. Preis geh. RM 17.50.

Vertiefte vergleichend anatomische Untersuchungen mit Ausrichtung auf Probleme allgemeiner Natur sind das Kennzeichen der Arbeiten des Verf. Interessante Ergebnisse erzielt der Verf. bei der Erforschung der Ontogenese fossiler Korallen und Ammoniten und benutzt sie als Grundlage zu einer kritischen Besprechung des Problems der „Konvergenzen". Die Paläoökologie ABELS hat die Konvergenzen besonders hervorgehoben und methodisch gebraucht, um die Lebensweise fossiler Tiere zu erschließen. Verf. greift die Frage der Konvergenzen vom morphologisch-phylogenetischen Gesichtspunkt an und rückt dabei die Probleme der Homologie und Analogie in den Vordergrund. Die Darstellung ist klar; ihr Hauptergebnis von allgemeinerer Bedeutung liegt in der Aufstellung neuer Definitionen für die bisher unter „Konvergenz" verstandenen Begriffe. Es werden *Homöomorphien* und *Konvergenzen* unterschieden. Homöomorphie ist: „Formähnlichkeit *homologer* Organe, die durch *parallele* oder *divergente* Entwicklung entstanden ist". Konvergenz ist: „Formähnlichkeit *analoger* Organe, die durch *konvergente* Entwicklung entstanden ist". Leider dürften auch diese Definitionen keine endgültige Klarheit herstellen. Nicht jeder Morphologe wird ohne einfaches, allgemein bekanntes Beispiel verstehen, wie Formähnlichkeit etwa durch *divergente* (morphologisch divergent!) Entwicklung zustande kommen kann. Die Definition der Homöomorphie muß eine etwas ausführlichere Fassung erhalten. Die Definition der Konvergenz ist dadurch belastet, daß der Verf. auf S. 454 betont, daß es keine Konvergenzen innerhalb eines und desselben Stammes gibt. Die Formähnlichkeit der Wale und Ichthyosaurier z. B. wird nicht als Konvergenz betrachtet, sondern als heterochron-parallele Entwicklung. Nun gibt es aber bekanntlich trotzdem zahlreiche Konvergenzen im Stamme der Wirbeltiere bzw. der Tetrapoden, die der Definition des Verf. entsprechen. Die Schwanzflossen der Ichthyosaurier und der Wale sind keineswegs Parallel-Isomorphien, also letzlich homologe Gebilde, sondern durchaus konvergente Erscheinungen, Analogien. Erst recht gilt das, wenn man in das erwähnte Beispiel noch bestimmte Haifische und Knochenfische einfügt. Die Panzer der Panzerfische, rezenter Kofferfische, Schildkröten und Glyptodonten sind unmöglich als heterochrone parallele Isomorphien zu bezeichnen,

es sind echte Konvergenzen. Wohl sind die Armskelette eines Vogels, einer Fledermaus und eines Flugsauriers einander homolog, aber die Tragflächen der Flügel mit ihren wesentlichsten Bestandteilen sind echt konvergente Bildungen. — Dem Ref. erscheint die von SCHINDEWOLF gewählte Basis der Deduktionen zu schmal; Arthropoden und Wirbeltiere liefern ungleich viel mehr Beispiele, die zur Erörterung dieser Fragen herangezogen werden können und erst den Gesamtumfang der Erscheinung durch vergleichende Betrachtung erkennen lassen. WALTER GROSS, Berlin.

SCHUSSNIG, BR., **Vergleichende Morphologie der niederen Pflanzen.** Eine Einführung in deren Formbildung und Formwechsel auf entwicklungsgeschichtlicher Grundlage. 1. Teil: Formbildung. Berlin: Gebr. Borntträger 1938. VIII, 382 Seiten, 470 Abbild. 17 cm × 25 cm. Preis brosch. MR 36.—, geb. RM 38.—.

Über die vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen gibt es seit lange mehrere Darstellungen, und die Herausgabe einer vergleichenden Morphologie der niederen Pflanzen ist deshalb mit Freude zu begrüßen. Die hier vorliegende Arbeit von Dr. BR. SCHUSSNIG behandelt in erster Linie die Algen im weiten Sinne des Wortes, die Pilze und die Flechten treten mehr in den Hintergrund, die Moose und die Farne sind beiseite gelassen.

Am eingehendsten ist die „Vergleichende Morphologie der Zelle" behandelt. Sorgfältig und in übersichtlicher Weise ist eine Fülle von Angaben aus der speziellen Literatur zusammengestellt. Besonders ist die eingehende Behandlung des Zellkerns und der Kernteilungen zu erwähnen, des weiteren die Zusammenstellung des Plastidoms, des Chondrioms und des Vakuoms und die Darstellung der Hüllen und Membranbildung.

Im Abschnitt „die Zelle als Elementarorganismus und als Elementareinheit" ist unter anderen den folgenden Fragen eine eingehende Behandlung gewidmet: Zellvermehrung, Kern- und Plasmarelationen, Lage und Anordnung der Plastiden, Symmetrieverhältnisse der Zelle, Polarität.

Im Abschnitte „Vergleichende Organographie" verfolgt der Verf. die phylogenetische Entwicklung der niederen Pflanzen, von der einfachen Zelle zu Zellfäden, Zellflächen und Zellkörpern, und unterscheidet dabei 3 verschiedene Typen:

1. das Nematoblastem: d. h. einfache oder verzweigte Fäden. Von dem Typus der einfachen Zellfäden, z. B. bei Ulothrix, sind verzweigte Fäden, wie z. B. bei Cladophora, Ectocarpus und Callithamnion, abzuleiten;

2. das Siphonoblastem: d. h. einzellige, aber mehrkernige Typen, wie z. B. bei mehreren Siphoneen;

3. das Syntagma: d. h. der Thallus wird von mehreren und ursprünglich gleichwertigen Faden- oder Schlaucheinheiten aufgebaut, die sich später irgendwie differenzieren und dabei morphologisch verschiedene Organe aufbauen können. Zu diesem Typus gehören die höher differenzierten Algen.

In den oben erwähnten Typen unterscheidet der Verf. dann mehrere Untertypen, die mit verschiedenen Namen belegt werden. Nach der Meinung des Ref. ist die Nomenklatur hier ein wenig zu weit getrieben.

Im letzten Abschnitt: „Vergleichende Anatomie des Thallus", berichtet der Verf. über das Auftreten von verschiedenen Geweben bei den niederen Pflanzen. So können Rinden- und Kortikalgewebe, Speicherungsgewebe, Mark- und Medullargewebe und mechanische Gewebe vorhanden sein.

Und zuletzt eine besondere Bemerkung: Der Verf. beabsichtigt offenbar, im zweiten Teil seiner Arbeit die seit alters bei den Florideen gebrauchten Wörter Karposporen und Tetrasporen in Karpogonidien und Tetragonidien zu verändern. Einer solchen Veränderung der Terminologie kann der Ref. nicht beistimmen.

HARALD KYLIN, Lund (Schweden).

MARTINI, E., **Lehrbuch der medizinischen Entomologie.** Jena: Gustav Fischer. 1941. 2. Aufl. XVI, 585 Seiten mit 302 Abb. 17 cm × 25,5 cm. Preis geb. RM 29.—, brosch. RM 27.—.

Mit dem Erscheinen der 2. Auflage des bekannten Lehrbuches von MARTINI über medizinische Entomologie ist einem dringendem Bedürfnis abgeholfen worden, da die 1. Auflage vor 18 Jahren erschienen ist. In dieser Zeit ist aber dieses wichtige Gebiet der angewandten Entomologie ungeheuer erweitert worden, so daß ein vor bald 2 Jahrzehnten erschienenes Lehrbuch als völlig überholt gelten muß. Das Bedürfnis nach einem neuzeitlichen Lehrbuch dieser Art war um so stärker, als wir im Gegensatz zu Frankreich, England und Amerika in deutscher Sprache nur dieses Lehrbuch besitzen, denn die Darstellung der medizinischen Entomologie in MENSES Handbuch der Tropenkrankheiten ist kein eigentliches Lehrbuch und auch stark überaltert (erschienen 1924).

MARTINI hat allein das Gesamtgebiet bearbeitet und die Fülle des neuen Stoffes kritisch mit sicherer Hand gesichtet, so daß nur das Wichtigste bei der Neubearbeitung der einzelnen Abschnitte aufgenommen wurde. Eine Erweiterung des ganzen Werkes um 123 Seiten Text und um 58 Abbildungen war aber nicht zu umgehen. Die Stoffanordnung ist die gleiche wie bei der ersten Auflage geblieben. Der 1. Abschnitt, „Bau und Leistungen der Gliederfüßler", ist einführender Art und enthält auch ein Kapitel über „allgemeine Bekämpfungslehre". Die beiden Hauptabschnitte behandeln die „Gliederfüßler als Schmarotzer" und die „Gliederfüßler als Krankheitsüberträger", während ein kleinerer Abschnitt die „Gliederfüßler als Gifttiere" darstellt. Der Schlußabschnitt enthält die wichtigsten Angaben über „Ungezieferbekämpfung". Im Interesse der Einheitlichkeit der Stoffbehandlung wäre dieser Abschnitt zweckmäßiger mit dem Kapitel allgemeine Bekämpfungslehre vereinigt worden.

Das Schriftenverzeichnis bildet diesmal einen besonderen Abschnitt. Verf. hat es nach den systematischen Gruppen und nach allgemeinen Gesichtspunkten geordnet und kritisch ausgewählt. In erster Linie sind Arbeiten und Werke genannt, die dem Weiterstudium dienen. Ein sorgfältiges, breit angelegtes Register (47 Seiten) ermöglicht ein rasches Finden der Einzelheiten. Wie Verf. im Vorwort betont, ist das Buch nicht nur für Ärzte und Biologen, sondern für weitere Kreise bestimmt; deshalb hat er auch elementare Dinge behandelt, die eigentlich in einem Lehrbuch über ein Spezialgebiet überflüssig sind. Über diesen Punkt kann man anderer Auffassung sein, weil dadurch eine gewisse stoffliche Belastung eintritt. Denn wer ein Lehrbuch dieser Art ernstlich benötigt, der ist mit den allgemeinen entomologischen Begriffen vertraut, oder zieht ein einführendes Werk (z. B. WEBER, Grundriß der Insektenkunde. Jena 1938) vorher zu Rate. Als Ganzes betrachtet, müssen wir MARTINI danken für die Fülle der geleisteten Arbeit, ebenso wie dem Verlag für die vorzügliche Ausstattung nach jeder Richtung hin. ALBRECHT HASE, Berlin-Dahlem.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.

Soeben erschien:

Technik der tiefen Temperaturen

Von

Dr. J. A. van Lammeren
Eindhoven

Mit 116 Abbildungen. VIII, 256 Seiten. 1941

RM 18.—; gebunden RM 19.80

Inhaltsübersicht:

Einführung. — **Thermodynamik.** Die Zustandsgleichung. Hauptsätze der Thermodynamik; erster Hauptsatz (Spezifische Wärme, Kompressionsarbeit, Carnotscher Kreislauf). Hauptsätze der Thermodynamik; zweiter Hauptsatz; Entropie. Nichtumkehrbare Zustandsänderungen; vollständige mathematische Formulierung des zweiten Hauptsatzes. Schlußfolgerungen aus dem zweiten Hauptsatze. Die absolute Temperaturskala. Thermodynamische Funktionen und Diagramme. Vorgänge, die eine Temperaturerniedrigung zur Folge haben. Der isothermische Drosseleffekt. Der theoretisch minimale Arbeitsaufwand für die Verflüssigung eines Gases. Das Nernst-Theorem. — **Der Gegenströmer.** Einführung. Arbeitsweise des Gegenströmers. Die Wärmeübertragung im Gegenströmer; Nusseltsche Formel. Berechnung des Gegenströmers. — **Die Luftverflüssigung.** Das Kaskadenverfahren. Die Linde-Hampsonsche Methode. Nähere Betrachtung des Lindeschen Systems. Das W-T-Diagramm des Linde-Prozesses. Der Nutzeffekt des Lindeschen Systems. T-x-Diagramm für Luft; Zusammensetzung der Luft im Verflüssiger. Erweiterungen des Linde-Verfahrens (Vorkühlung, Hochdruckkreislauf). Das Claudesche Verfahren. Die Heylandtsche Verbesserung des Claudeschen Systems. Übersicht über die verschiedenen Systeme. Technische Einzelheiten. — **Flüssiger Wasserstoff.** Einführung. Einige Angaben über Wasserstoff. Der Leidener Wasserstoffverflüssiger. Der Arbeitsaufwand des Verflüssigers. Wasserstoffverflüssigung mit Hilfe von flüssigem Neon. Technische Einzelheiten. Einige Typen kleinerer Wasserstoffverflüssiger. — **Flüssiges Helium.** Historische Einleitung. Einige Angaben über das Helium. Der Heliumverflüssiger. Leistung und Arbeitsaufwand des Heliumverflüssigers. Der Heliumverflüssiger Kapitza's. Simonsches Verfahren zur Verflüssigung des Heliums. Festes Helium. Zwei Flüssigkeitsmodifikationen: Helium I und Helium II. — **Desorption als kälteerzeugender Vorgang.** Das Prinzip der Desorption. Einzelheiten des Adsorptionsvorganges. Das Simonsche Verfahren. Die Bedeutung des Simonschen Verfahrens für das Kältelaboratorium. Die niedrigste, durch Desorption erzielte Temperatur. — **Adiabatische Entmagnetisierung.** Historische Übersicht. Phänomenologische Theorie des Magnetismus. Kältewirkung bei Entmagnetisierung; thermodynamische Behandlung des Prozesses. Die Langevinsche Kurve im Widerspruch mit dem Nernstschen Wärmetheorem; Quantisierung des Elementarmagneten. Das Lorentzsche Feld. Einfluß des elektrischen Feldes des Kristallgitters. Die spezifische Wärme der paramagnetischen Salze. Die Temperaturmessung. Temperaturgleichgewicht; paramagnetische Relaxation. Apparatur. — **Kryostatentechnik.** Der Kryostat im allgemeinen. Das Füllen des Kryostaten. Das Einstellen der Temperatur im Kryostaten. Temperaturmessung. Kryostate für die Temperaturgebiete zwischen denen der flüssigen Gase. Keesomscher Meßkryostat für Temperaturen unterhalb 1° K. Kryostat zur Messung von Kristallstrukturen. — Schrifttumsverzeichnis. — Namen- und Sachverzeichnis.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Elektronen-Übermikroskopie

Physik · Technik · Ergebnisse

Von

Manfred von Ardenne

Mit einem Titelbild, einer photographischen Tafel und 404 Abbildungen

XVI, 393 Seiten. 1940. RM 54.—; gebunden RM 57.60

Aus den Besprechungen:

Verfasser hat eine ebenso umfassende wie sachverständige, wesentlich auf eigenen Forschungen ruhende Darstellung der Elektronenmikroskopie gegeben . . .

Der Gesamteindruck des reich und schön illustrierten Buches ist, daß hier ein vielseitig begabter, erfindungsreicher Techniker mit eindringendem Fleiß zahllose Schwierigkeiten gemeistert hat . . .

Aus der zusammenfassenden Übersicht der bisher gewonnenen Ergebnisse seien erwähnt: die Sichtbarmachung sehr großer Molekeln (z. B. Hämozyanin), von kolloiden Metallteilchen, der (kristallinen) Elemente von Stauben und Rauchen, der Partikel von Farbstoffen und Katalysatoren, der Struktur von Polyoxymethylenkristallen, von Kautschuk, photochemischen Reaktionsprodukten. Unter den biologischen Anwendungen sind besonders bemerkenswert und aufschlußreich die Untersuchungen von Viren, Bakterien, Bakteriophagen, Spirochäten, Fibrin . . .

Der Verfasser hat sich mit seinen Forschungen, seinen genialen technischen Gaben, seinem grundlegenden Werke für alle Zeit einen Platz in der Geschichte der Elektronenmikroskopie gesichert. *„Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie"*

Ein Fachmann ersten Ranges auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie hat dieses Werk verfaßt, das in klarer und durch außerordentlich zahlreiche, instruktive Abbildungen erläuterter Darstellung zunächst die allgemeinen Grundlagen des Verfahrens und anschließend die Einrichtungen der verschiedenen Apparaturen (Elektronenmikroskop, Elektronensondenmikroskop, Stereo- und Dunkelfeld-Übermikroskop) behandelt. Die Lektüre des physikalisch-technischen Teiles setzt Kenntnisse voraus, die wohl nicht bei allen vorhanden sein dürften, welche die Elektronenmikroskopie zur Lösung bestimmter Probleme ihrer Spezialfächer heranzuziehen wünschen. Wer indes in dieser Hinsicht nicht gehemmt ist, wird sich schon beim Studium dieser Abschnitte ein Urteil bilden können einerseits über die gewaltigen Fortschritte in der Konstruktion der Apparate, im Ausbau ihrer theoretischen Basis und in der Erweiterung ihres Anwendungsbereiches, andererseits aber auch über die Grenzen, welche den einschlägigen Methoden gezogen sind . . . Nach der Ansicht des Verfassers scheinen sich zwei Wege der weiteren Entwicklung der Elektronen-Übermikroskopie schon heute abzuzeichnen: die Herstellung einfacher und leicht bedienbarer Apparate, welche auch von den nicht spezialistisch geschulten Personen verwendet werden können, und zweitens die Steigerung des Auflösungsvermögens der kostspieligen, große Schulung erfordernden und bisher nur in wenigen Exemplaren vorhandenen Konstruktionen bis zum erreichbaren Optimum. Jedem, der angesichts der schon erzielten Resultate nicht zurückbleiben und die zu erhoffende Entwicklung mitmachen will, und jedem, der sich bei seinen „Problemstellungen" von der elektronenoptischen Technik Aufschlüsse und neue Ausblicke verspricht, wird sich in dieses Buch vertiefen müssen. *„Klinische Wochenschrift"*

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Für den Textteil verantwortlich: Fritz Süffert in Berlin W 9; für den Anzeigenteil: Albert Meyer in Berlin-Steglitz, Kühlebornweg 5. Pl. 4. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig. — Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Printed in Germany.